



OPINNÄYTETYÖ

Telapyöräkäyttöisen varavoimalaitoksen sähkösuunnitelma

Ossi Roivainen

Tutkintotyö
Toukokuu 2013
Sähkötekniikan ko.
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

ROIVAINEN, OSSI
Telapyöräkäyttöinen varavoimalaitos

Opinnäytetyö 57 sivua josta liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2013

Varavoimakoneita on ollut jo vuosikymmeniä käytössä eri aloilla esim. sähköverkkojen kunnossapidossa. Viime vuosina pienet varavoimalat eli aggregaatit ovat lisääntyneet myös pienkuluttajien keskuudessa. Vaikka sähköä pyritäänkin nykyään tuottamaan yhä enemmän uusiutuvista energianlähteistä, on lyhytaikaisten sähkötyökalujen tai sähkölinjan korjauksen aikana polttomootorilla toimiva generaattori paras ja kätevin vaihtoehto. Varsinkin suurissa varavoimakoneissa tehon tuottamiseen tarvitaan tehokas generaattori ja vielä tehokkaampi voimakone, jolla generaattoria pyöritetään. Tällaisen yhdistelmän hinta voi usein nousta liian korkeaksi.

Työn tarkoituksena oli tutkia henkilö- tai pakettiauton mahdollisuuksia toimia voimakoneena. Tällöin sähköntuottamiseen tarvitaan ainoastaan generaattori ja voimanlähteenä toimiva ajoneuvo. Työssä käsitellään muutaman kilowatin tehoista generaattoria, mutta perusidean toimiessa generaattorin kokoa voidaan kasvattaa voimakoneen antamalla rajoilla. Perusideana oli, että auto ajetaan telapyörästäjien päälle ja auton toinen rengas on lukittu paikoilleen. Voima välitetään voimansiirtoa pitkin generaattorille, jolla sähköä tuotetaan.

Työstä tehtiin kaksi eri opinnäytetyötä. Toisessa työssä käsiteltiin varavoimakoneen mekaanista toteutusta ja tämän työn tarkoituksena oli luoda sähkösuunnitelma. Vastavanlaista varavoimalaitteistoa ei ole todennäköisesti aikaisemmin tehty eikä suunniteltu. Lähin vastaava kaupallinen laite on niin sanottu traktorigeneraattori, jossa traktorin moottorilla pyöritetään generaattoria kardaanin välityksellä.

Generaattorin pyörimisestä oikealla nopeudella oli tarkoitus huolehtia vakionopeuden säätimen avulla, mutta sen käyttö todettiin mahdottomaksi useimmissa eri autoissa. Suunnitelmien perusteella prototyyppi on toimiva, mutta se vaatii kuitenkin vielä kehityä. Suurimpana ongelmana on generaattorin pyörimisnopeuden pitäminen vakiona kuormituksen muuttuessa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

ROIVAINEN, OSSI

Drum-driven Emergency Power Station, Electrical Design

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 2 pages
May 2013

Emergency Power Machines has been used for decades in various fields such as electricity maintenance. In recent years, small reserve power plants such as aggregates are increased in the small consumers. Although electricity is produced from renewable sources more and more, short-term usage of power tools or during electric power failure the combustion-engine driven generator is the best and most convenient alternative. Especially in large emergency power systems, to produce power effective generator is needed and even more even more efficient power machine, which the generator is rotated. Such a combination can often increase the costs too high.

The purpose of the thesis was to examine the cars or vans ability to function as power machine. In this case, only generator and vehicle is needed to produce electricity. The research deals with a few kilowatts-powered generator, but the power of the generator can be increased as long as it is suitable for power machine. The basic idea was that the car is driven to drums and one tire of the vehicle is locked. Power is transmitted to the transmission along a generator to produce electricity.

The research was carried out in two different theses. The second thesis discussed about emergency power machines mechanical implementation and this research aims to create electrical design. Such emergency power equipment is not likely researched nor designed before. The closest similar commercial device is the so-called tractor generator, in which a generator is rotated via cardan.

The right rotation speed of the generator was ment to be handled with a cruise control, but it's use was found to be impossible in most cars. According to the planned the prototype is functional, but it still needs to be developed. The main problem is to maintain a constant rotational speed as the generator load changes.

Key words: generator, emergency power, power machine

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO.....	6
2 PROTOTYYPIN KUVAUS JA TAVOITE	7
3 VARAVOIMAKONE	8
3.1 Varavoimakoneen valintakriteerejä	9
3.2 Voimakone	9
3.3 Generaattori	9
3.4 Aggregaatilta vaadittava teho	10
4 GENERAATTORI VAIHTOEHDOT	11
4.1 Tahtikoneet	11
4.1.1 Kestomagnetoitu tahtikone.....	13
5 EPÄTAHTIMOOTTORIN TEORIA, MITOITUS JA VALINTA	14
5.1 Epätahtimoottori	14
5.1.1 Epätahtimoottori generaattorina.....	15
5.2 Epätahtigeneraattorin laboratoriomittaukset.....	17
5.2.1 Tyhjäkäynti	18
5.2.2 Ylimitoitettumagnetointi	21
5.2.3 Generaattorin kuormitus.....	22
5.2.4 3-vaiheinen resistiivinen kuormitus	25
5.2.5 3-vaihe moottorikuorma.....	27
5.2.6 Kuormitus liian tehokkaalla moottorilla	28
5.2.7 1-vaihe moottorikuorma.....	29
5.2.8 Pehmökäynnistys	30
5.2.9 Kuormitus päällä käynnistys	31
5.3 Epätahtigeneraattorin valinta	31
5.4 Kondensaattorien valinta magnetointiin	32
6 SÄHKÖJÄRJESTELMÄ	36
6.1 Suojaus.....	36
6.1.1 Kotelointiluokka.....	36
6.1.2 Maadoittaminen.....	36
6.1.3 Vikasuojaus ja poiskytkentä.....	37

6.2	Suojalaitteiden valinta ja mitoitus prototyyppilaitteistolle	39
6.2.1	Ali ja ylijännitesuojaus.....	39
6.2.2	Vikavirtasuojakytkin	42
6.2.3	Johdonsuojakatkaisijat	43
6.2.4	Maadoituselektrodi.....	45
6.3	Laitteen hallinta ja liitynnät	46
6.3.1	KytKentäkotelo	46
6.3.2	Pääkytkin.....	48
6.3.3	Pistorasiat	48
6.3.4	Mittalaitteet	49
7	KUSTANNUSARVIO	51
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	52
	LIITTEET	55
	LÄHTEET.....	56

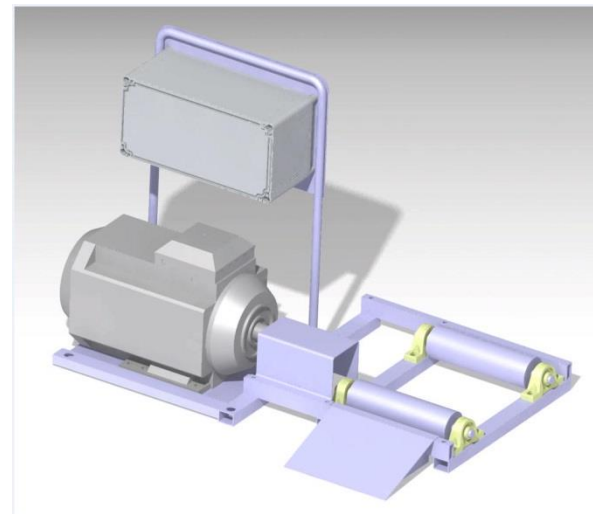
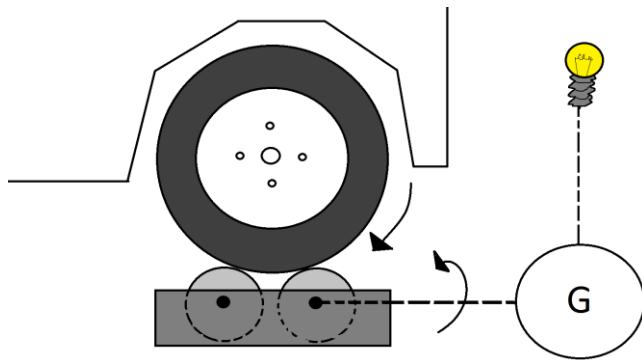
1 JOHDANTO

Varavoimalaitteita käytetään tilanteissa, joissa verkossa on sähkökatkoksia tai paikoissa, joissa verkko on heikko tai sitä ei ole ollenkaan. Valmiit aggregaatit sisältävät voimakoneen ja generaattorina käytettävän moottorin, jota käytetään tilapäisenä sähköenergian lähteenä.

Tutkintotyön tarkoituksena oli kehittää prototyyppi, jossa voidaan käyttää voimakoneena ajoneuvoa, jolloin laitteen hinta on edullisempi. Riippuen ajoneuvosta on niiden moottoreista saatava teho varsin suuri varavoimatarpeeseen nähden. Järjestelmän kehittämiseksi tehdään kaksi tutkintotyötä, toinen sähkötekniikan alalta ja toinen konetekniikan alalta. Tämän tutkintotyön tavoitteena on tehdä sähkösuunnitelma sekä kustannusarvio telapyöräkäyttöisen varavoimalaitteiston prototyypistä.

2 PROTOTYYPIN KUVAUS JA TAVOITE

Suunniteltavassa laitteistossa hyödynnetään ajoneuvojen moottoreita, joiden teho on varsin suuri varavoimatarpeeseen nähden. Laitteisto sisältää yhden vetävän pyörän alle sijoitettavan jarrudynamometristä tutun telaparin. Generaattori kytketään telapyörästäön hihnavälityksen, suoraan kardaanin tai vastaavan voimansiirron avulla. Toinen vetävä pyörä lukitaan paikalleen esim. kiilojen avulla. Vakionopeudensäätimellä vetopyörän nopeus nostetaan sellaiseksi, että generaattorin tuottama taajuus ja jännitetaso pysyvät sopivina. Ajoneuvon vakionopeudensäädin huolehtii generaattorin kierrosnopeudesta vaikka kuormitus muuttuu käytön aikana.



KUVA 1. Periaatekuva ja 3D-malli prototyypistä

Prototyypin sähköiset ominaisuudet ja tavoitteet

Generaattori

- Teho 5 – 7.5 kW
- Pyörimisnopeus 1500 1/min
- Edullinen

Käyttöliittymä

- Kytkentätaulu kuormia varten
- 1 ja 3-vaihe lähdöt
- Oikean jännitteen ja taajuuden osoitus

Suojaus

- Vikavirtasuoja
- Lähtöjen johdonsuoja
- Ali ja ylijännitesuoja

3 VARAVOIMAKONE

Varavoimakone eli puhekielessä tunnettu "aggregaatti" eli polttomoottori-generaattori on kone, jolla voidaan tuottaa sähköä dieselin, bensiinin tai vaikka traktorin akselilta saadulla voimalla. Aggregaatteja käytetään sellaisissa paikoissa, joihin ei sähköverkko ulotu tai niitä voidaan käyttää sähkökatkosten aikana.

Aggregaatin tuottama sähkö on yleensä kotitalouksissa saatavaa verkkosähköä vastaavaa yksi- tai kolmivaiheista virtaa, mutta sähkön laatu saattaa vaihdella hieman aggregaatin laadusta sekä teknisistä ratkaisuista riippuen. (Hollolan Sähköautomaatiikka Oy 2013)

Tässä tutkintotyössä prototyyppiä ajatellen lähinnä jo olemassa oleva kaupallinen vaihtoehto on ns. traktorigeneraattorit. Muuta eroa ei käytännössä ole kuin voimansiirto ja kierrosnopeudet.



Kuva 2. Traktorigeneraattori 15 kVA.

3.1 Varavoimakoneen valintakriteerejä

Aggregaatin valinnassa on tärkeää ottaa huomioon ne olosuhteet, joissa se tulee toimimaan. Tällaisia huomioon otettavia tekijöitä ovat mm:

- Syötetäänkö siirrettävää laitteistoa vai kiinteää asennusta
- Kuormituksen suuruus (kW) ja sen tehokerroin ($\cos \phi$)
- Kuormituksen tyyppi – lämmityslaitteet, valaistus, moottorit, elektroniset laitteet, hitsauslaitteet
- Kapasitiivisten kuormitusten esiintyminen, esimerkiksi kondensaattoriparisto
- Kuormituksen herkkyys jännitteen ja taajuuden vaihteluille
- Maadoitusmahdollisuudet
- Sijaintipaikka, ulkonäkö ja ympäristö
- Huoltomahdollisuudet
- Käyttöhenkilöstön pätevyys

3.2 Voimakone

Varavoimakoneen toiminta perustuu voiman tuottamaan moottoriin, esim. polttomoottoriin, joka usein on diesel-käyttöinen sekä generaattoriin jolla polttomoottorin akseliteho muutetaan sähköenergiaksi. Polttomoottorin kierrosluvulla on myös merkitystä käyttökään. Karkeasti arvioituna moottorin käyttöikä voi nelinkertaistua mikäli moottorin kierrosluvut puolittuvat. (Hollolan Sähköautomaatiikka Oy 2013)

Arvio on tarkoitettu lähinnä pienmoottoreille. Vaikka prototyypissä käytetään henkilöauton moottoreita, on moottorin elinkaarta ajatellen sitä parempi mitä matalammilla kierroksilla tarvittava teho saadaan aikaiseksi.

3.3 Generaattori

Teholuokassa (5-7.5 kW) kaupallisissa vaihtoehtoissa käytetään yleensä harjattomia synkronigeneraattoreita eli tahtigeneraattoreita, jotka ovat yleensä kestopagnetoituja. Suuremmissa tahtigeneraattoreissa on akselinpäässä erillinen magnetointikoneisto jolla tuotetaan tarvittava magnetointi roottorille. Generaattoreina on käytetty myös epätahtimoottoreita, mutta niiden huonosta säädettävyydestä johtuen niitä on vähemmän markkinoilla. Epätahtigeneraattori tarvitsee erillisen magnetoinnin mikä lisää hankintakulua, eikä sillä saa aikaan jatkuvaa oikosulkuvirtaa.

Aggregaattien välisissä sähkönlaaduissa voi olla suuriakin eroja. Joidenkin valmistajien sähkönlaatu voi olla lähes siniaallon muotoista, kun taas toiset sisältävä paljon aalto-muodon vääristymiä. (Hollolan Sähköautomaatiikka Oy 2013)

3.4 Aggregaatilta vaadittava teho

Aggregaatin tehoa valittaessa käsitteillä pätöteho (P) ja näennäisteho (S) on perustavaa laatua oleva merkitys. Pätötehon ja näennäistehon suhdetta kutsutaan tehokertoimeksi, jonka merkinä useimmiten on $\cos\varphi$. Täysin resistiivisillä kuormilla, kuten lämmityslaitteet ja hehkulamput, tehokerroin = 1. Purkauslamppujen ja elektroniikkaa sisältävien laitteiden tehokerroin on usein selvästi alempi. Aggregaatin generaattori pitää aina valita siten, että sen näennäisteho on suurempi kuin kuormituksen yhteenlaskettu näennäisteho.

Moottoreilla on usein moninkertaiset käynnistysvirrat nimellisvirtaan verrattuna. Suorakäynnisteisen (D.O.L) oikosulkumoottorin käynnistysvirta on usein 6...8-kertainen nimellisvirtaan verrattuna ja lisäksi tehokerroin on pieni käynnistyksessä, koska tällöin moottori ottaa lähes pelkkää loistehoa. Yleensä ohjearvona voidaan pitää, että suorakäynnisteisen oikosulkumoottorin akseliteho (kW) ei saa olla yli 10 % generaattorin nimellistehosta (kW). Tähti-kolmio-käynnistyksessä prosenttiluku voi olla 30 % ja ns. pehmokäynnistimellä tai taajuusmuuttajalla varustetussa käynnistyksessä vielä suurempi, riippuen käynnistysrampista. (ABB Oikosulkumoottori: Teknistä perustietoa)

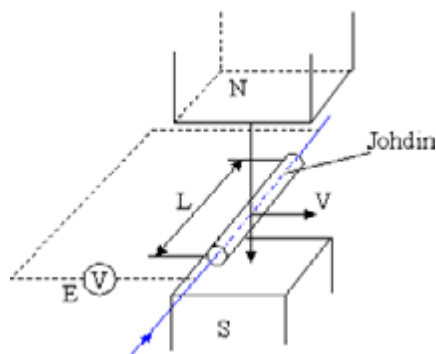
Yleinen virhe aggregaattia valitessa on, että lähdetään annetusta kuormituksen pätötehosta, mutta unohdetaan ottaa huomioon kuormituksen aiheuttamat yliaallot ja loisteho, joista johtuu alhainen tehokerroin. Ei siis ole laskettu näennäistehoa (kVA) eikä ehkä myöskään otettu huomioon mahdollisia käynnistysvirtoja. Tästä voi seurata se, että generaattori ei kykene antamaan vaadittavaa tehoa, jännite romahtaa ja aggregaatti kytkeytyy irti kuormasta (SEK Handbok 447, Svenska Elektriska Kommissionen 2006)

4 GENERAATTORI VAIHTOEHDOT

Tässä tutkintotyössä perehdytään enimmäkseen epätahtimoottorin käyttämiseen generaattorina prototyyppilaitteistossa. Generaattorivaihtoehtoja on myös monia ja kaikilla niillä on omat hyvät ja huonot puolensa.

Oli sähkömoottori käytännössä millainen tahansa, voidaan sillä tuottaa ulkoisen voimakoneen tai liike-energian avulla sähköenergiaa. Generaattorin toiminta perustuu magneettikentässä liikkuvaan johtimeen syntyvään sähkömotoriseen voimaan (smv) eli lähdejännitteeseen. Kuvasta 3 nähdään, että johdin (pituus L) liikkuu nopeudella v kohtisuoraan magneettikenttää vastaan, siihen syntyy sähkömotorinen voima E , joka voidaan laskea kaavalla.

$$E = B * L * v \quad (1)$$



Kuva 3. Johdin magneettikentässä.

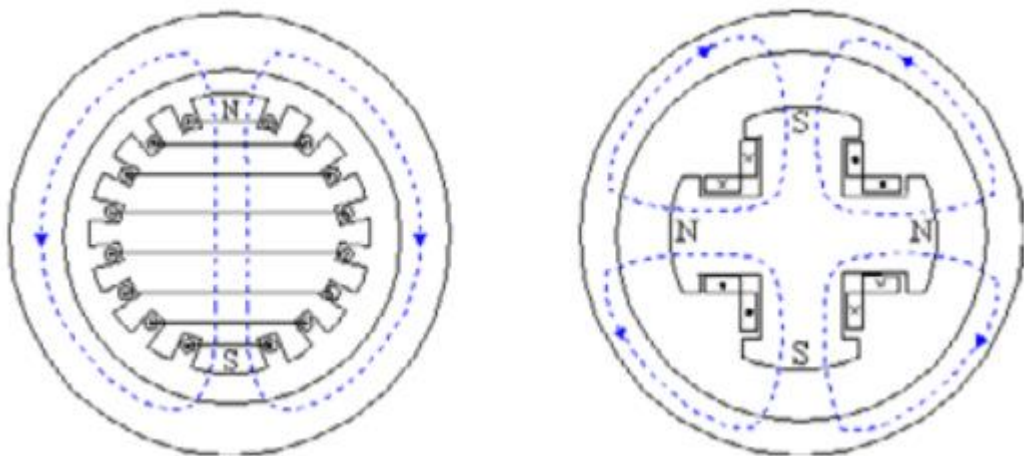
4.1 Tahtikoneet

Tahtikoneiden nimitys tulee siitä, että niiden roottorit pyörivät koneen sisäisen magneettikentän ja siten myös syöttävän verkon kanssa tarkalleen samalla nopeudella eli ns. tahtinopeudella toisin kuin epätahtimoottori jossa roottorin ja magneettikentän välissä on jättämää. Periaatteessa tahtikoneen staattorin rakenne on samanlainen kuin epätahtimoottorissa, mutta roottorin rakenne on erilainen.

Tahtikoneen pyörimisnopeus on sidoksissa syöttävän verkon tai syöttölaitteiden taajuu-
teen. Roottorin eli napapyörän, rakenteen osalta tahtikoneet voidaan jakaa kahteen eri
ryhmään: avonapaisiin ja umpinapaisiin tahtikoneisiin, joiden napapyörien eroja on ha-
vainnollistettu kuvassa 4. Napapyörien rakenteellisista eroista johtuen niiden matemaat-
tinen käsittelykin on erilaista.

Vierasmagnetoitu tahtikone magnetoidaan roottorin napakäämin avulla, jota syötetään
erillisellä muuttajalla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tahtikoneiden roottoreiden na-
vat magnetoidaan tasavirralla, joko ulkoisella sähkönsyötöllä hiiliharjojen avulla tai
akselille sijoitetaan erillinen magnetointikone. Sen sisäisten kestopagneettien avulla
voidaan tuottaa tarvittava magnetointivirta roottorille. Magnetointikone on periaatteessa
kestopagnetoitu tasa- tai vaihtovirtageneraattori. Mikäli magnetointikone on vaihtovir-
tageneraattori, niin tuotettava sähkö tasasuunnataan tasasuuntaajan avulla roottorille S ja
N napojen aikaan saamiseksi. (Korpinen 2013)

Generaattoreiden napakäämivirran (magnetointivirran) säätöä käytetään verkon jännit-
teen säätämiseen. Napakäämivirran avulla voidaan vaikuttaa koneen tehokertoimeen.
Ylimagnetoimalla konetta voidaan tuottaa loistehoa, esimerkiksi induktiokoneiden tar-
peisiin.



KUVA. 4. Umpinapa (vasen) ja avonapa (oikea)

4.1.1 Kestomagnetoitu tahtikone

Kestomagnetoidussa tahtigeneraattorissa eli synkronigeneraattorissa, heräte saadaan aikaan kestopagneetin avulla erillisen magnetointikoneiston sijaan. Vaikka generaattori ei tarvitse erillistä magnetointia, ovat tehokkaat kestopagneetit kalliita ja näin ollen kestopagnetoiduntahtikoneen hankinta voi olla liian kallis. Kestomagnetoitua generaattoria ei voi helposti säätää, koska magnetointi on koko ajan vakio. Usein on myös niin, että kestopagnetoidut generaattori eivät kestä kovin suurta kierrosnopeutta, koska on vaarana että magneetit voivat lähteä irti ja aiheuttaa suurta tuhoa. Kestomagnetoidun generaattorin lähtöjännite on suoraan verrannollinen sen kierrosnopeuteen. Niitä käytetään yleisesti erilaisissa kohteissa sähköenergian tuotantoon esim. kaasuturbiinit, määntämoottorivesiturbiinit ja tuulivoimaloissa.

Kestomagneetteina tämäntyyppisissä generaattoreissa käytetään ns. neodyymimagneetteja. (Murphy 2012)



Kuva 5. Kiinalainen kestopagnetoitu tahtigeneraattori.

(http://image.tradenvv.com/2008/11/27/dieselgeneratorset_561333_600/permanent-magnet-generator.jpg)

5 EPÄTAHTIMOOTTORIN TEORIA, MITOITUS JA VALINTA

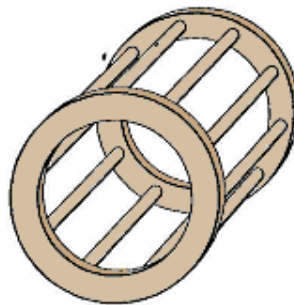
Laitteiston generaattorina päätettiin käyttää epätahtimoottoria, koska se on luotettava, halpa ja kestävä ratkaisu. Lisäksi koululla ei ollut oikein muita sopivia generaattorivaihtoehtoja, jotka olisivat olleet alustavan suunnitelman mukaisia.

5.1 Epätahtimoottori

Epätahtimoottori on vaihtovirtamoottori, jossa sähkömagneettista energiaa siirretään induktiivisesti ensiökäämityksestä toisioon. Käämitykset ovat erotettu toisistaan ilmaralla. Kolmivaiheisessa epätahtimoottorissa energia kulkeutuu staattorin roottorin käämitykseen, joka on tyypillisesti häkkikäämitys. Epätahtimoottoreita käytetään laajasti eri teollisuuden aloilla, koska ne ovat kestäviä, luotettavia ja taloudellisia.

(Alger & Philip 2013)

Toimintaperiaate perustuu siihen, että vaihtosähkö ja staattori kehittävät magneettikentän, joka pyörii samassa tahdissa sähköverkon kanssa. Oikosulkumoottorin roottori ei pyöri samassa tahdissa staattorin luoman magneettikentän tahdissa vaan hieman hitaammin. Tästä aiheutuu se, että staattori indusoi vastakkaisen virran roottoriin eli periaatteessa moottorin toisio käämitykseen. Tällöin roottorin oikosuljettuun kuvan 6 mukaiseen häkkikäämitykseen muodostuu virtoja, jotka puolestaan luovat magneettikentän ja reagoivat staattorin kenttään.

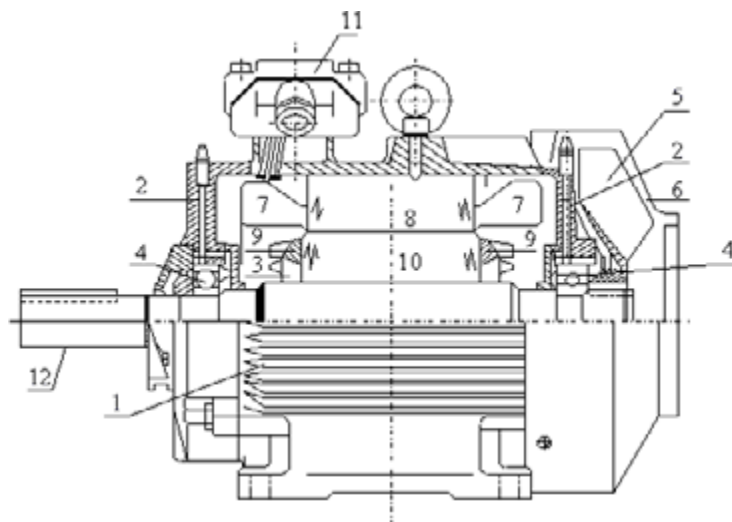


KUVA 6. Häkkikäämitys

Johtuen Lenzin laista heikkenevä ulkoinen magneettikenttä synnyttää induktiovirran, joka synnyttää alkuperäisen magneettikentän suuntaisen kentän, ja alkuperäinen kenttä vahvistuu. Roottorin pyörintä kiihtyy kunnes indusoidun roottorin virta ja vääntömomentti tasapainottaa kuorman. Epätahtimoottori pyörii aina moottorikohtaisen jättämän

verran hitaammin kuin sen magneettikenttä. (*Squirrel-Cage Induction Motor Standards* 2012)

Epätahtikoneet jaetaan tavallisesti oikosulku- ja liukurengaskoneisiin, joista oikosulkukone on yleisempi. Moottorin rakenteesta on esimerkki kuvassa 2. Koneen toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat staattorin käämitykset levypaketteineen ja roottorin käämitys levypaketteineen. Käytännössä ainoat moottorin kuluvat osat ovat laakerit. (Sähkökoneet osa 1)



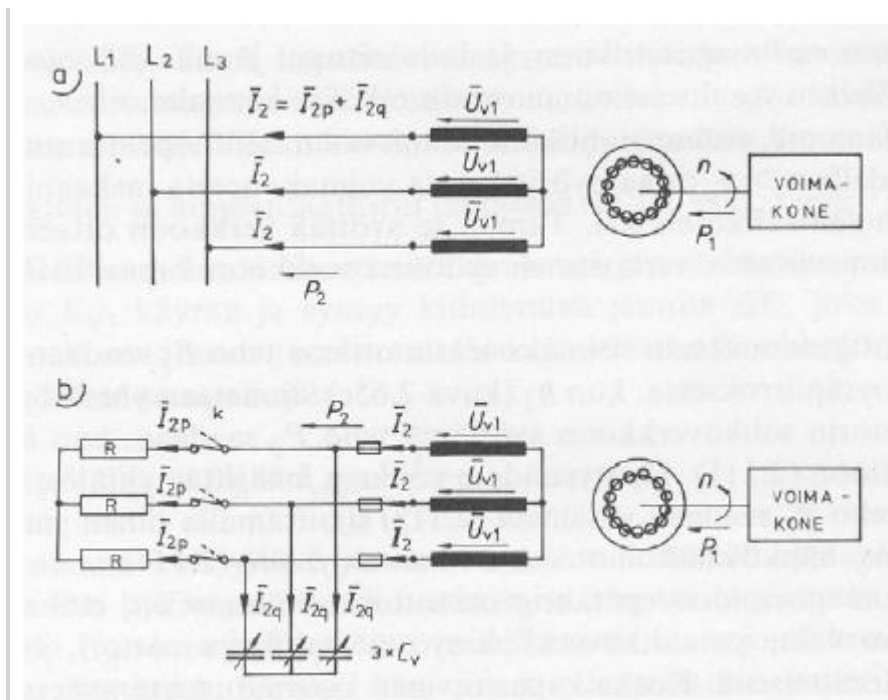
KUVA 7. Epätahtimoottorin rakenne: 1 staattorin runko, 2 laakerikilvet, 3 roottori, 4 laakerit, 5 tuuletin, 6 tuulettimensuojus, 7 staattorikäämitys, 8 staattorin levypaketti, 9 roottorin käämitys, 10 roottorin levypaketti, 11 liitäntäkotelo, 12 akseli. (Korpinen 2013)

5.1.1 Epätahtimoottori generaattorina

Epätahtikonetta voidaan käyttää myös generaattorina. Generaattorikäytössä roottori pyörii epätahdissa magneettikentän kanssa aivan kuin moottorinakin, mutta nopeammin kuin magneettikenttä, koska muutoin vastamotorista voimaa ei olisi ja näin ollen ei myöskään virtoja indusoituisi käämityksiin. Epätahtigeneraattorit voidaan jakaa magnetointi tekniikoiden perusteella kahteen ryhmään: verkko- ja kondensaattorimagnetoituihin epätahtigeneraattoreihin. Verkkomagnetoitut epätahtigeneraattorit ottavat magnetointivirran sähköverkosta, joten ne eivät pysty syöttämään sähkötehoa muuhun kuin jännitteelliseen verkkoon. Tällaisia verkkomagnetoituja epätahtigeneraattoreita on käytetty esimerkiksi pienitehoisissa tuulivoimalaitoksissa ja vesivoimaloissa. Kondensaatt-

torimagnetoitu epätahtigeneraattori ottaa tarvitsemansa magnetoimisvirran koneen liittimiin kytketyistä magnetointikondensaattoreista, jotka kytketään tyypillisesti tähteen moottorin napoihin. Tällainen generaattori pystyy toimimaan täysin itsenäisenä sähkön tuotantolaitteena. (Korpinen 2009)

Kondensaattorimagnetoituja generaattoreita käytetäänkin usein poltto- tai dieselmoottorin ollessa voimakoneena. Itsemagnetoituvan generaattorin rautaosien pitää olla magneettisesti kyllästyviä, jotta generaattorin heräämiselle välttämätön remanenssivuoli olemassa. Nykyaikaisissa epätahtimoottoreissa remanenssivuota on vähemmän koska materiaalit ja rakenteet ovat kehittyneet vuosien varrella. (I. S. Grant & W. R. Phillips 2003)



KUVA 8. Epätahtigeneraattoreiden magnetointi a) verkkomagnetoitu b) kondensaattorimagnetoitu

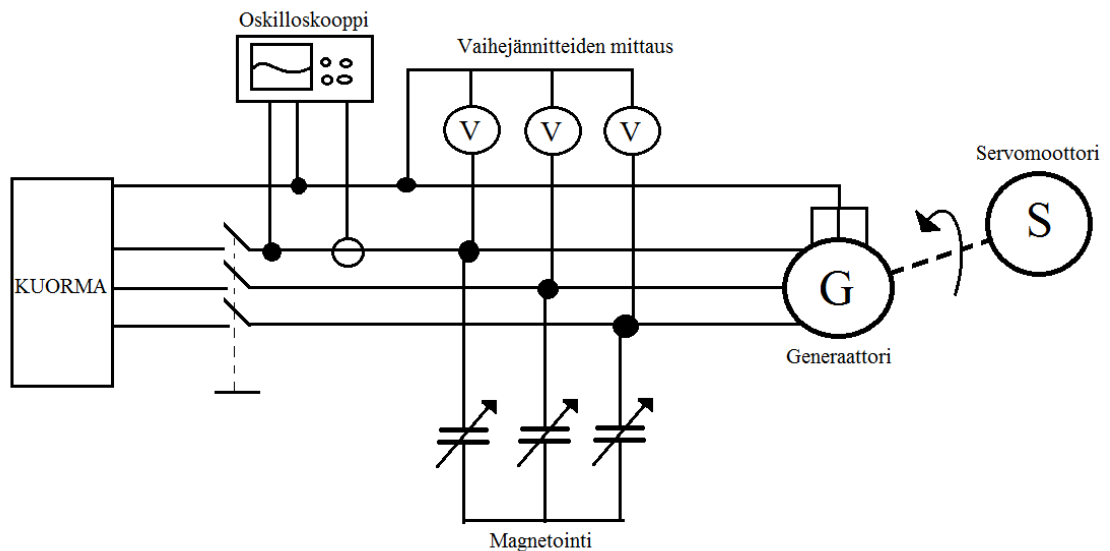
5.2 Epätahtigeneraattorin laboratoriomittaukset

Koulun sähkölaboratoriossa tutkittiin epätahtimoottorin toimintaa generaattorina. Tarkoituksena oli tutkia generaattorin toimintaa eri kuormituksilla sekä sen magnetointiin liittyviä ilmiöitä ja kytkentöjä

Tutkittava moottori oli taulukon 1 mukainen. Moottori on hieman pieni prototyypin vaatimuksiin nähden, mutta mittaus tulokset ja ilmiöt ovat verrattavissa tehokkaampiin moottoreihin.

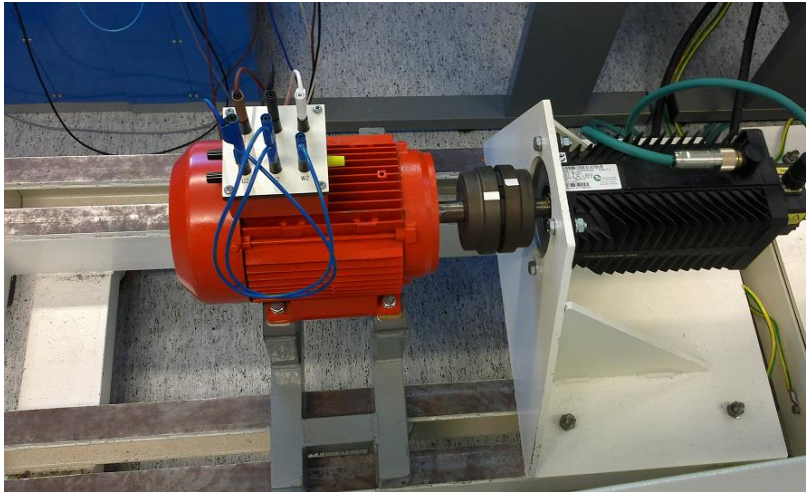
TAULUKKO 1. Tutkittavan moottori tiedot

Teho	2.2kW
Jännite	Y 380V
Virta	Y 4,9A
Tehokerroin	0,83
Pyörimisnopeus	1410 1/min
Paino	27 Kg



Kuva 9. Yleiskuva testikytkennästä.

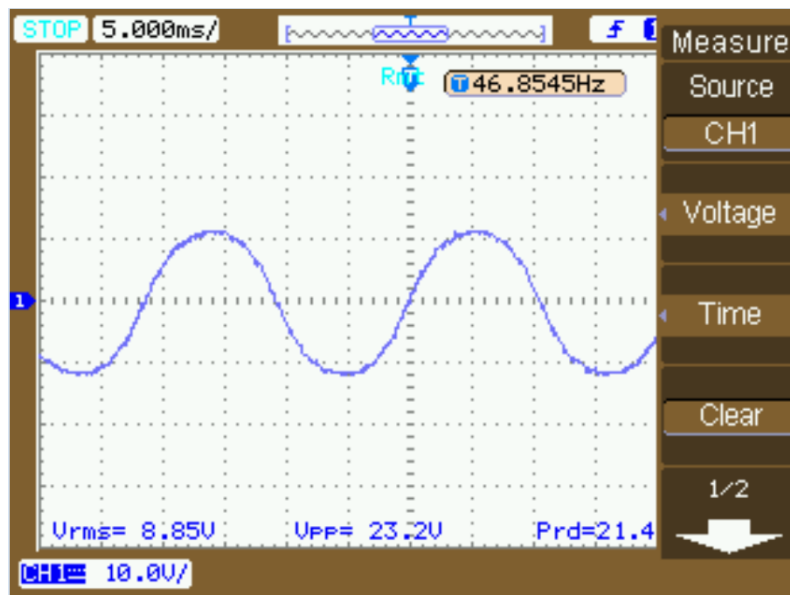
Moottori kiinnitettiin testipenkkiin ja säädettiin samaan linjaan servomoottorin kanssa. Servomoottori toimi voimakoneena laboratoriossa. Moottori kytkettiin tähteen ja näin ollen moottorista saadaan ulos 230V generaattorin tähtipistettä vasten mitattuna.



Kuva 10. Tutkittava moottori generaattorina testipenkissä

5.2.1 Tyhjäkäynti

Mittaukset aloitettiin kokeilemalla mitä moottorigeneraattori tuottaa ilman erillistä magnetointia nimellisa nopeudellaan. Oskilloskooppi kuvasta 11 havaittiin, ilman erillistä magnetointia, että moottorin oma remanenssi ei riitä nostamaan jännitettä juuri muutamia volttia suuremmaksi. Kuvasta havaitaan myös se, että moottorin akselin täytyy pyöriä nopeammin, kuin sen nimellisa nopeus on, mikä johtuu staattorin ja roottorin välisestä jättämästä. Kaikkien vaiheiden jännite oli kuvan 11 tapainen niin amplitudiltaan kuin taajuudeltaankin.



Kuva 11. Liitinjännite L1 ilman magnetointia ja kuormaa, 1410 1/min, jännite 10 V/ruutu (8.85 Vrms).

Seuraavaksi mitoitettiin testi moottorille sopiva kondensaattori magnetointia varten.

Sopiva kondensaattori magnetointiin on sellainen, joka pystyy tuottamaan moottorin tarvitseman loistehon. Kondensaattorin arvon saa helposti selville tyyppikilvessä ilmoitetun tehokertoimen arvosta laskemalla:

Lasketaan sopiva kondensaattori magnetointia varten:

Moottorille annettiin sopiva hyötysuhde, kun sitä ei tyyppikilvessä lukenut. Jälkeenpäin huomattiin, että vastaavan kokoisilla moottoreilla hyötysuhde on huonompi, joka on luokkaa 80 %.

$$\eta = 90 \%$$

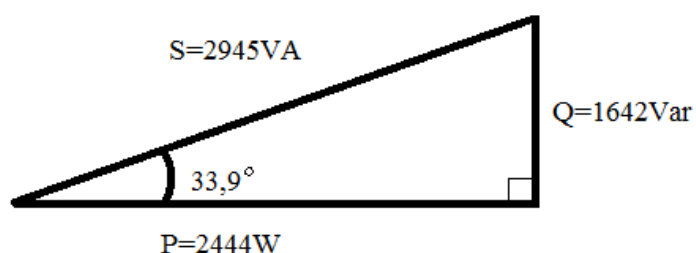
$$P = \eta * P_{\text{akseli}} = 0,9 * 2200\text{W} = 2444\text{W} \quad (2)$$

$$S = \eta * \cos\varphi * P = 0,9 * 0,83 * 2200\text{W} = 2945\text{VA} \quad (3)$$

$$Q = P * \tan(33,9^\circ) = 2444\text{W} * \tan(33,9^\circ) = 1645\text{Var} \quad (4)$$

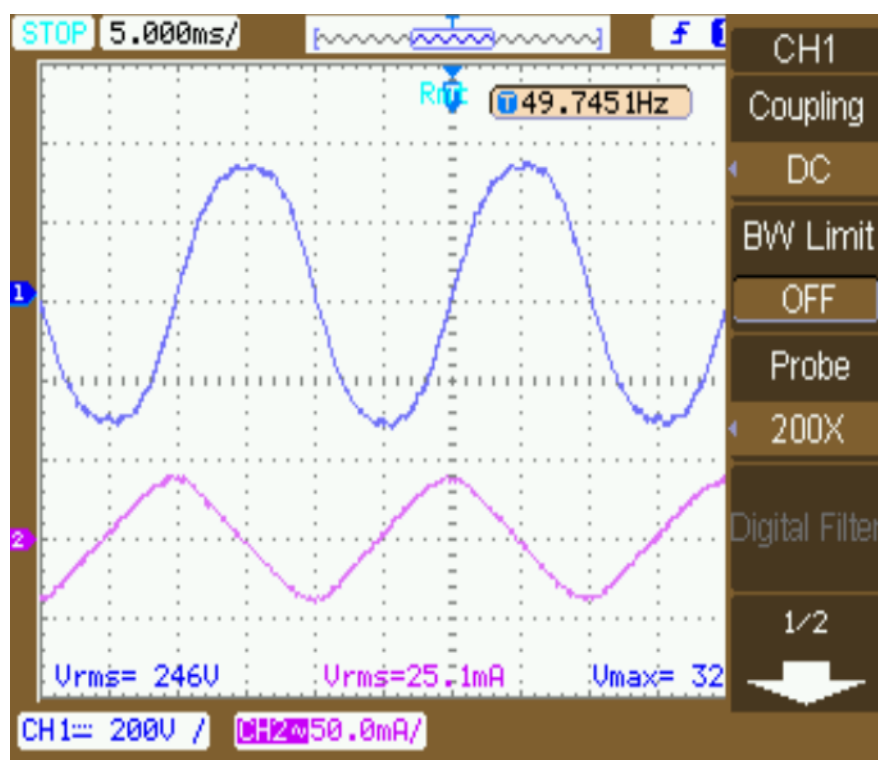
Yhden kondensaattorin arvo:

$$Q_{L1} = \frac{1645\text{Var}}{3} = 545\text{Var}$$



Kuva 12. Moottorin tehokolmio.

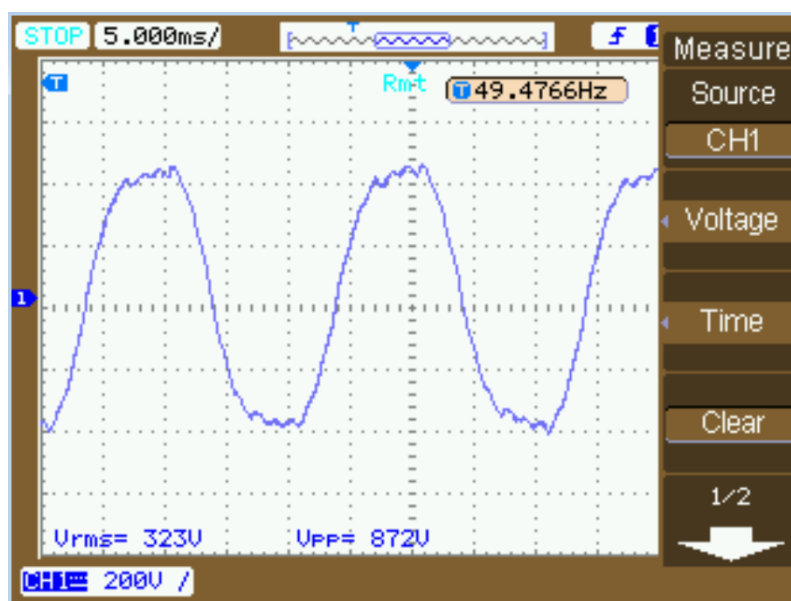
Fluke 87 yleismittarilla ja oskilloskoopilla oli hieman eri jännitteet, vaikka ne mittasivat samaa pistettä. Kytkennässä olleita kondensaattoreita ei saatu säädettyä tasan 545 Var:n, lähin arvo oli 537 Var:a. Kuvassa 13 havaitaan, että 1611 Var:n magnetoinnilla moottori toimii generaattorina ja jännite on lähellä haluttua 1-vaiheista tehollisarvoa. Kuvassa 2 näkyy myös vaiheen L1 magnetointikondensaattorin ottama loisvirta.



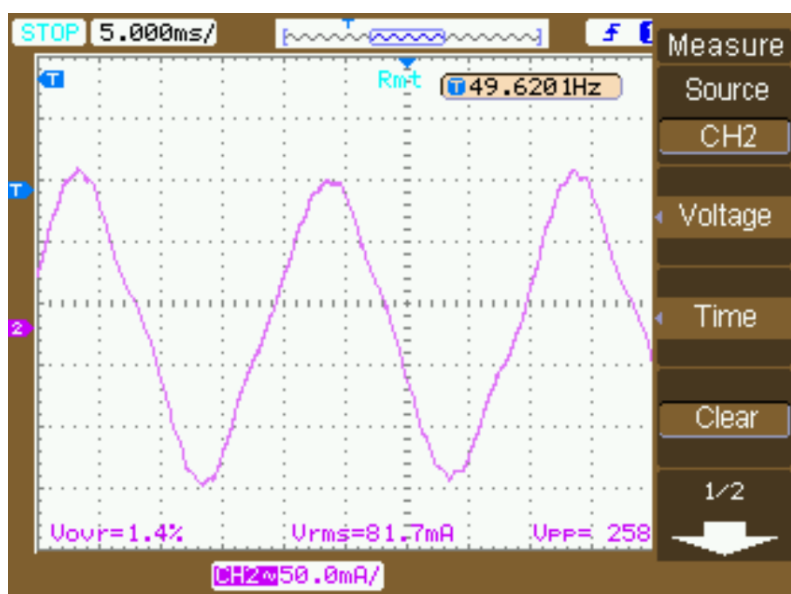
Kuva 13. Magnetointi 1611 Var, ilman kuormaa, 1500 1/min, jännite 10V/ruutu, virta 5A/ruutu.

5.2.2 Ylimitoitettumagnetointi

Seuraavaksi tutkittiin mitä tapahtuu ylimitoitetulla magnetoinnilla. Kuvasta 5 havaitaan, että ilman kuormitusta jännite nousee tyhjäkäynnillä reilusti, noin yli 80V nimellisen jännitteen. Kuvasta 15 nähdään, että 3843 Var magnetoinnilla loisvirta kasvaa reilusti, lähes kolminkertaiseksi verrattuna 1611 Var:n magnetointiin.



Kuva 14. Magnetoitu 3843 Var, ilman kuormaa, jännite 200V/ruutu, $V_{rms} L1, L2, L3 = 323V$

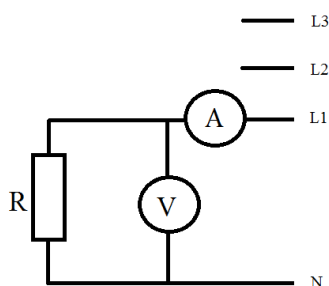


Kuva 15. Magnetointivirta (L1) 8.1 Arms, ilman kuormaa, 3843 Var, 5A/ruutu.

5.2.3 Generaattorin kuormitus

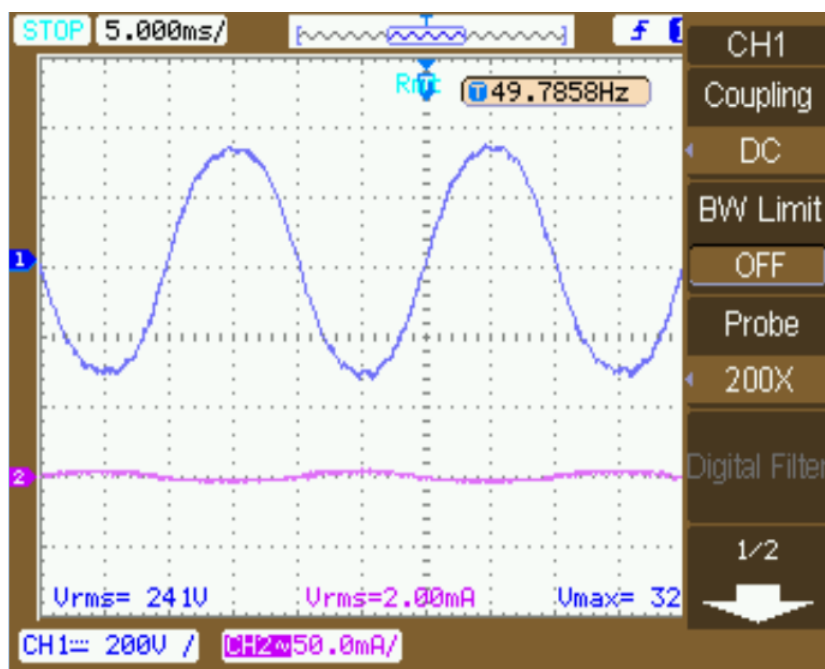
Seuraavaksi olivat vuorossa mittaukset eri kuormitusten kanssa. Epätahtimoottori magnetoiitiin moottorin tehokertoimesta lasketun kondensaattorin avulla eli noin 1650 Var teholla.

1-vaiheinen, resistiivinen kuormitus, 1500 1/min:



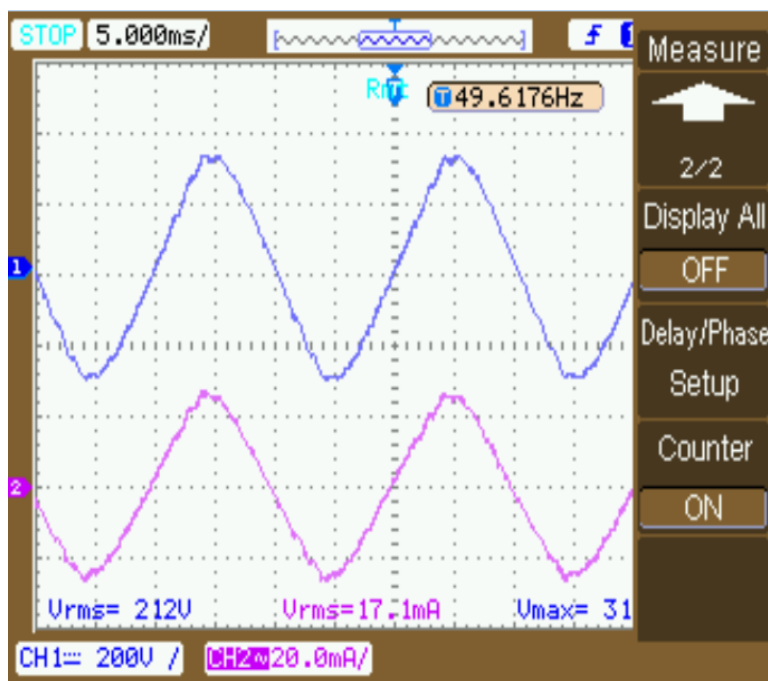
Kuva 16. KytKentä

Tutkittiin generaattoria neljällä eri kuormaresistanssin arvolla.



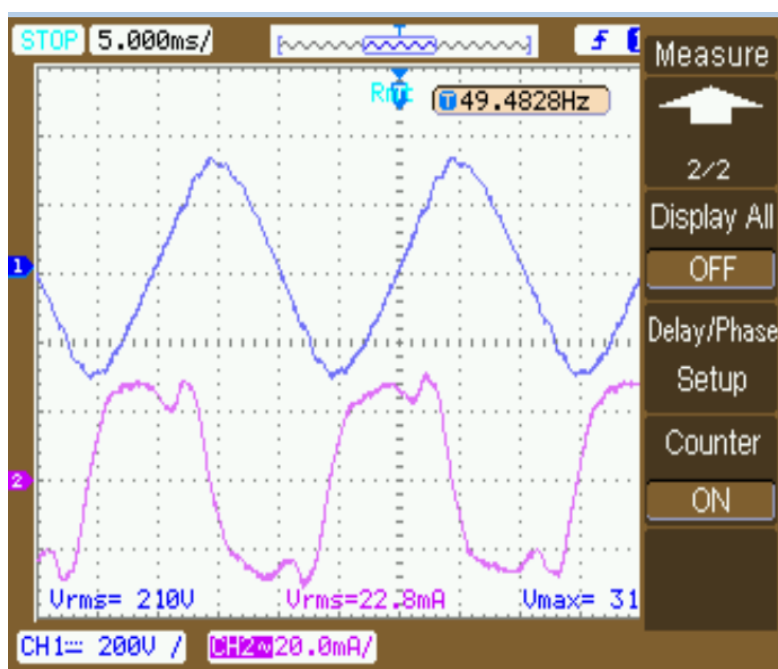
KUVA 17. Kuormitus 50W, kuormavirta 0,2A ja jännite 249 Vrms, virta 5A/ruutu, jännite 200V/ruutu.

Pienillä kuormituksilla generaattorin tehoon nähden jännitteen ja virran aaltomuodot olivat varsin hyvän näköisiä ja säröttömiä. Kuormitusta kasvatettaessa alkoi aaltomuoto vääristyä.



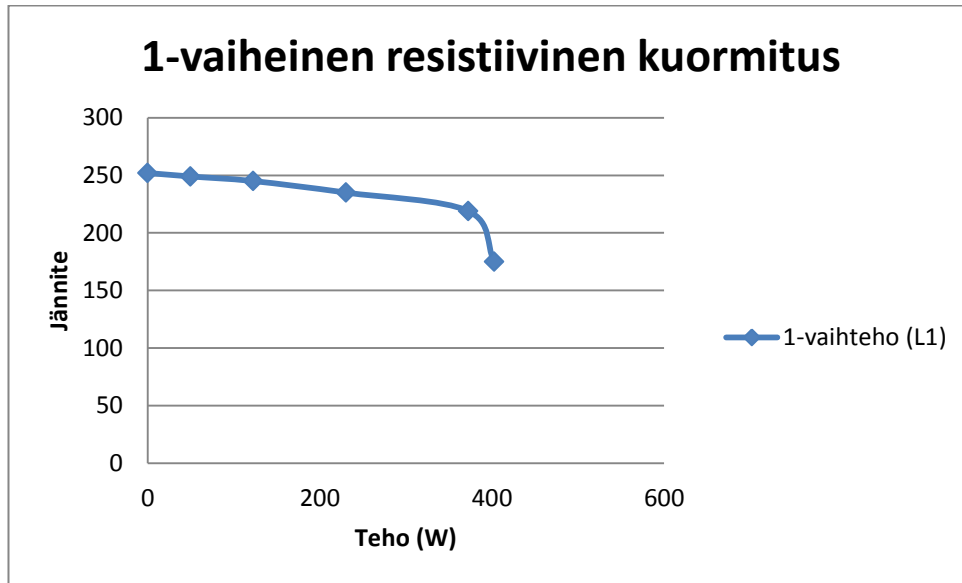
Kuva 18. Kuormitus resistanssilla 370W, kuormavirta 1.7 Arms, jännite 219 Vrms, jännite 200V/ruutu, virta 2A/ruutu.

Jännite alkoi kuormitusta lisätessä muistuttaa yhä enemmän kolmioaaltoa mikä johtuu kolmannen yliaallon summautumisesta. Yliaallon synty johtuu kondensaattoreiden keskinäisistä kapasitanssieroista sekä moottorin käämien impedanssien eroista. Yhdessä nämä erot saavat sopivasti aikaan kolmannen yliaallon.



KUVA 19. Kyllästymisen aiheuttama aaltomuodon säröytimen, kuormateho 478W, jännite 200V/ruutu, virta 2A/ruutu

KUVAAJA 1. Jännitteen kuvaaja tehon funktiona

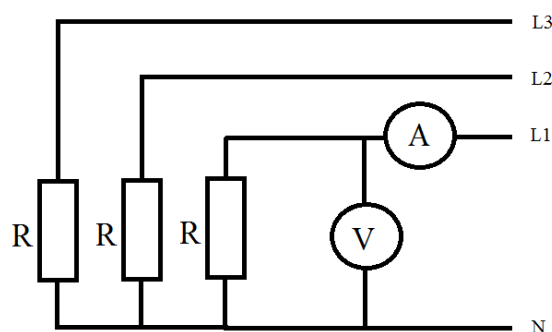


1-vaiheisesta resistiivisestä kuormituksesta kuvaajasta voidaan havaita se, että tietyn pisteen jälkeen kun teho on riittävän suuri alkaa jännite pudota kohti nollaa varsin nopeasti. Jännitteen romahdus pisteessä ei auta muu kuin kytkeä nopeasti kuorma irti, koska muuten generaattori demagnetoituu ja generaattori pitää esim. pienellä virtasykäyksellä magnetoida, jotta se saadaan tuottamaan sähköä magnetointikondensaattoreiden avulla.

Moottori alkoi pitää yhä suurempaa jyrisevää ääntä, kun kuormitus kasvoi, mikä johtui kuormituksen epäsymmetrisyydestä. Lopulta kuormitus oli liian suuri magnetointiin nähden, jännite ja virta laskee nolnaan muutamassa sekunnissa. Ylikuormaa varten varavoimakoneessa täytyy olla alijännitesuojaus, joka kytkee kuormituksen nopeasti pois tietyssä pisteessä. Tällöin jännitteet palaavat ennalleen, eikä generaattori ehdi demagnetoitua.

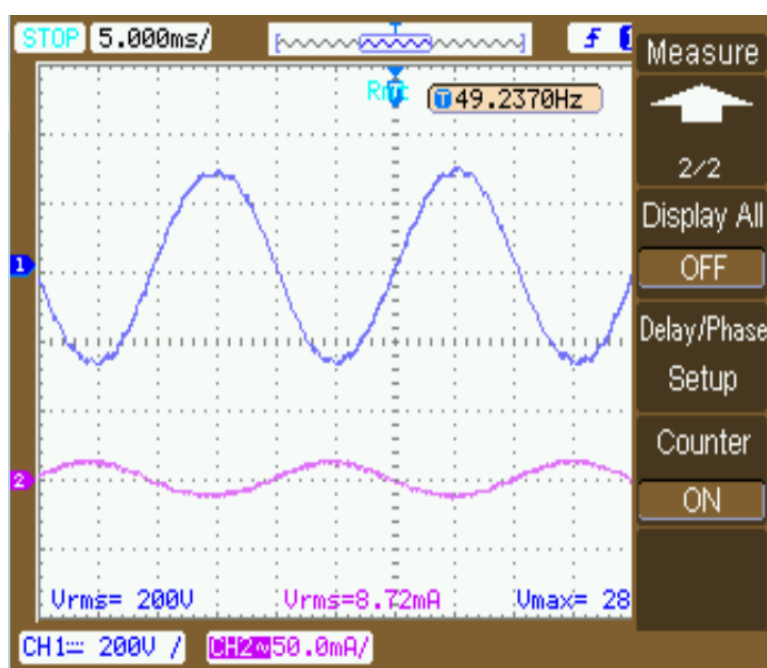
5.2.4 3-vaiheinen resistiivinen kuormitus

Vastaavanlainen kuormitus tehtiin myös 3-vaiheisena. Kuormavastukset kytkettiin täh-
teen ja kuormituksen tähtipiste kytkettiin generaattorin tähtipisteeseen. Virrat, jännitteet
ja niiden käyrämuodot mitattiin jokaiselta vaiheelta erikseen.



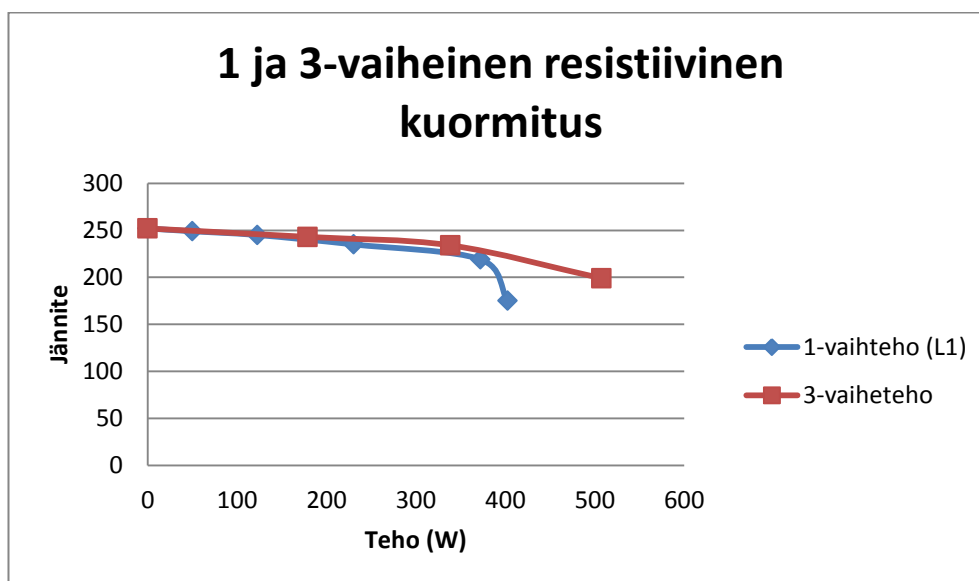
Kuva 20. Tähtikytkentä

Mittauksissa havaittiin, että kolmivaiheisen vaihekohtainen teho jäi pienemmäksi kuin
1-vaiheisessa mikä oli varsin yllättävää. Tarkemmin ilmiötä tarkasteltaessa, 1-
vaiheisessa kuormituksessa kahden vapaan vaiheen kondensaattorin magnetointi ikään
kuin summautuu yhdelle vaiheelle, jolloin generaattorilla saadaan suurempi vaihekoh-
tainen teho aikaiseksi.



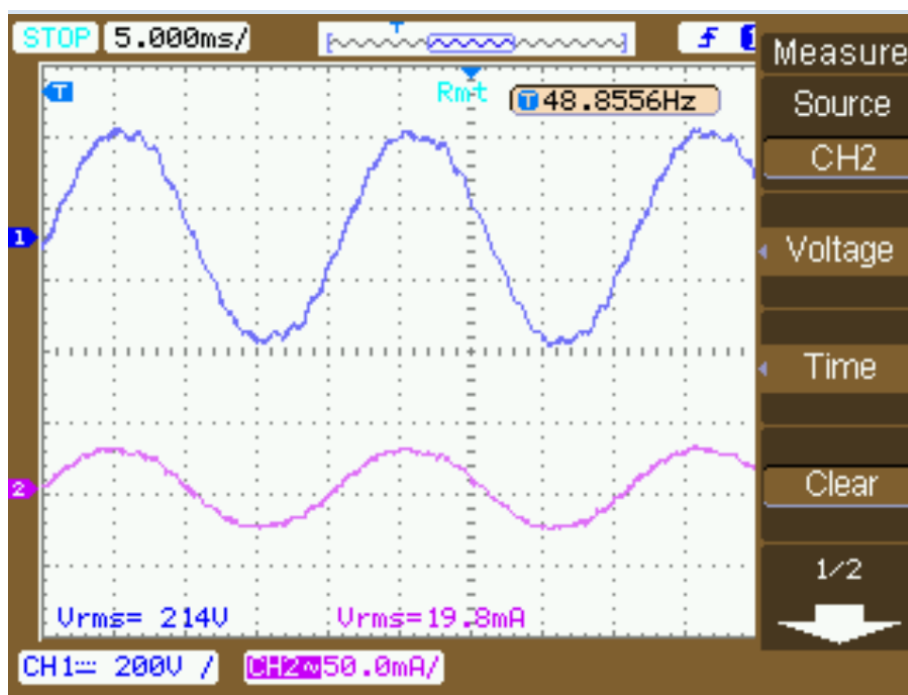
Kuva 21. Virta L1 0,9A ja jännite 200 Vrms, vaihekohtainen kuormateho 190W, jännite
200V/ruutu, virta 5A/ruutu.

KUVAAJA 2. 3-vaiheinen resistiivinen kuormitus.



Jännite käyttäytyy samalla tavalla kuin 1-vaiheisessa kuormituksessa. Ainoa ero on, että vaihekohtaisesti se laskee nopeammin kuormituksen kasvaessa.

3-vaihekuormitusta kokeiltiin myös ylimagnetoituna. Magnetoinniksi säädettiin 2850 Var, kuormitukseksi säädettiin sellainen, jolla saadaan vielä 10 % jännitteen alenemalla eli 207 Vac.

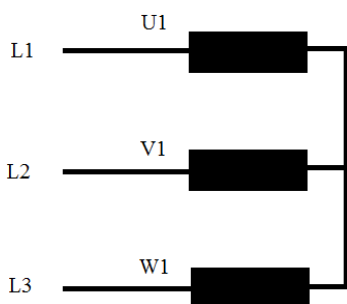


Kuva 22. Vaihekohtainen maksimiteho 423W, noin 7 % jännitteenalenema, jännite 200V/ruutu (215 V_{rms}), virta 5A/ruutu (1.98 Arms).

Mittauksessa käytetyillä vastuksilla ei saanut jännitettä putoamaan 214 V lähemmäksi. Edellä olleista kuormitusmittauksista voidaan todeta, että magnetointia kasvattamalla generaattorista on mahdollista saada enemmän tehoa irti, mutta tällöin kuormittamattomana liitinjännite nousee liian suureksi.

5.2.5 3-vaihe moottorikuorma

Varavoimakoneita käytetään myös usein erilaisten pumppujen ja muiden laitteiden käyttöön, joissa on moottori. Kuormamoottori kytkettiin tähteen kuvan 8 osoittamalla tavalla ja sitä ohjattiin suoraan 3-napaisen kytkimen avulla päälle ja pois.

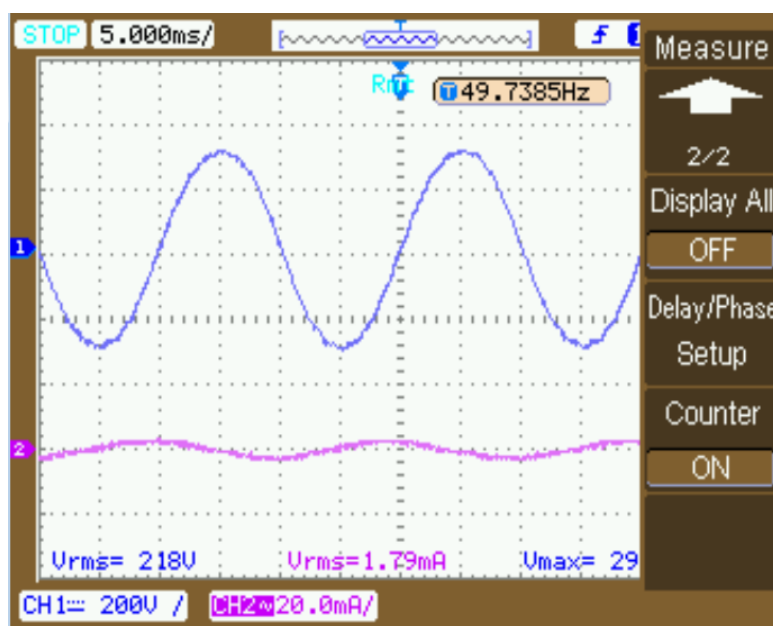


Kuva 23. Tähtikytkentä

Kuormamoottorin tiedot:

- Valmistaja: ELIN KM 34
- Jännite ja virta: D 380V / 1.1A
- Teho: 0.37 kW
- Pyörimisnopeus: 1350 1/min
- Tehokerroin: 0.75

Käynnistettäessä kuormamoottoria jännitteen ja virran käyrämuoto pysyi hyvänä. Käynnistyksen jälkeen putoaa jännite, mikä johtuu siitä, että kuormamoottori tarvitsee myös loistehoa ja se ottaa sen magnetointi kondensaattoreista. Kuormamoottori on kuitenkin niin pienitehoinen että jännitteenalenema ei ole liian suuri (10 %). Lisäämällä magnetointia havaittiin, että jännite nousee samalla tavalla kuin resistiivisellä kuormituksella. Mitä lähempänä tehokerroin on arvoa yksi, sitä vähemmän jännite laskee, mutta yleensä pienillä moottoreilla se on pieni ja samoin myös hyötysuhde.

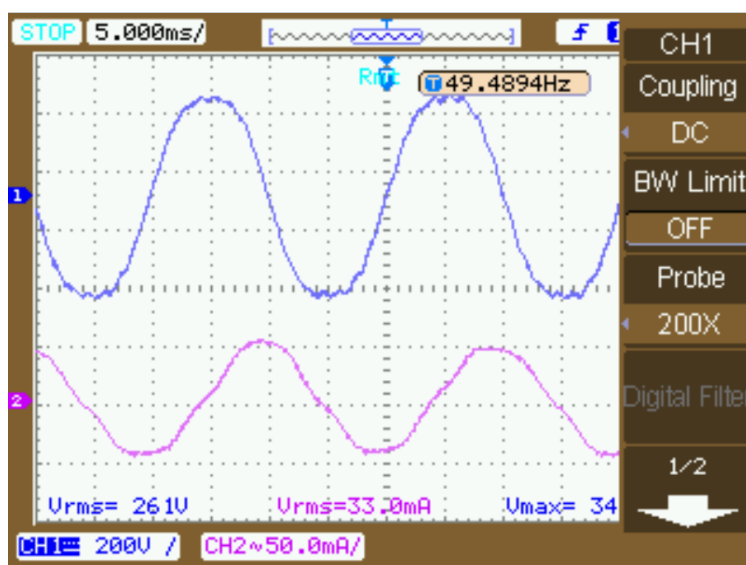


Kuva 24. Y-kytkentä, kuormamoottori 1490 1/min, jännite 200V/ruutu (218 Vrms), virta 2A/ruutu (0.179 Arms)

5.2.6 Kuormitus liian tehokkaalla moottorilla

Moottori tiedot:

- Valmistaja: ABB
- Teho: 1.5 kW
- Taajuus: 50 Hz
- Pyörimisnopeus: 1420 1/min
- Nimellisjännite ja virta: D 380V / 3.5A
- Tehokerroin: 0.79

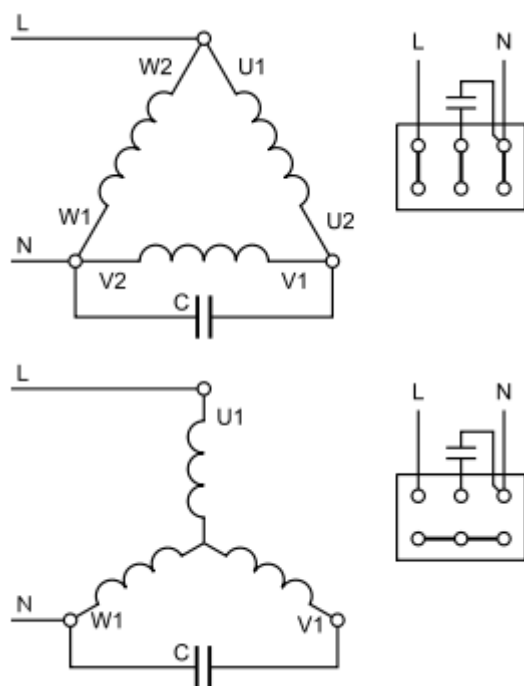


Kuva 25. Moottori D-kytkentä, 3783 Var magnetointi, ”heijaus käynnistys”, jännite 200V/ruutu (261 Vrms), virta 5A/ruutu (3.3 Arms).

1611 Var magnetoinnilla ei ollut toivoakaan saada moottoria käyntiin, kytkimestä kääntämällä akseli pyörähti hieman. Jännitteet ja virrat tipahtivat, mutta magnetointi ei ehtinyt hävitä kokonaan ja jännitteet palasivat, kun kuormituksen kytki irti. 2850 Var magnetoinnilla moottoria ei saatu käyntiin ”heijaamalla” kytkin auki kiinni auki..., mutta 3783 Var:n magnetoinnilla moottorin sai ilman kuormitusta käyntiin ”heijaamalla”. Todellisuudessa ”heijaaminen” tuskin onnistuu, koska silloin moottorin akselilla on kuormitusta, joka estää akselin vapaan pyörimisen. Yksi keino voisi olla jokin taajuusmuuttaja tai pehmokäynnistin, jolla moottorin saa käyntiin ilman heijaamista. Tällöinkään moottorista ei saada välttämättä täyttä tehoa irti johtuen liian pienestä generaattorista, ja myös siitä, että moottori ottaa oman osansa loistehon tuotannosta, mikä heikentää generaattoria.

5.2.7 1-vaihe moottorikuorma

Kokeiltiin myös moottoreiden toimintaa yksivaiheisina, kun aiemmin oli huomattu, että yksivaiheinen kuormitus on generaattorille parempi kuin 3-vaiheinen. Pienempi moottori käynnistyi toki hitaammin, mutta käynnistyi kuitenkin. Suurempi testimoottori ei suostunut käynnistymään, akseli pyörähti hieman ja samalla jännitteet romahtivat. Muutenkin 3-vaiheisen moottorin muuttaminen yksivaiheiseksi laskee moottorien tehoa ja vääntöä. Usein kuitenkin pienissä laitteissa kuvan 15 tapainen kytkentä on yleinen.



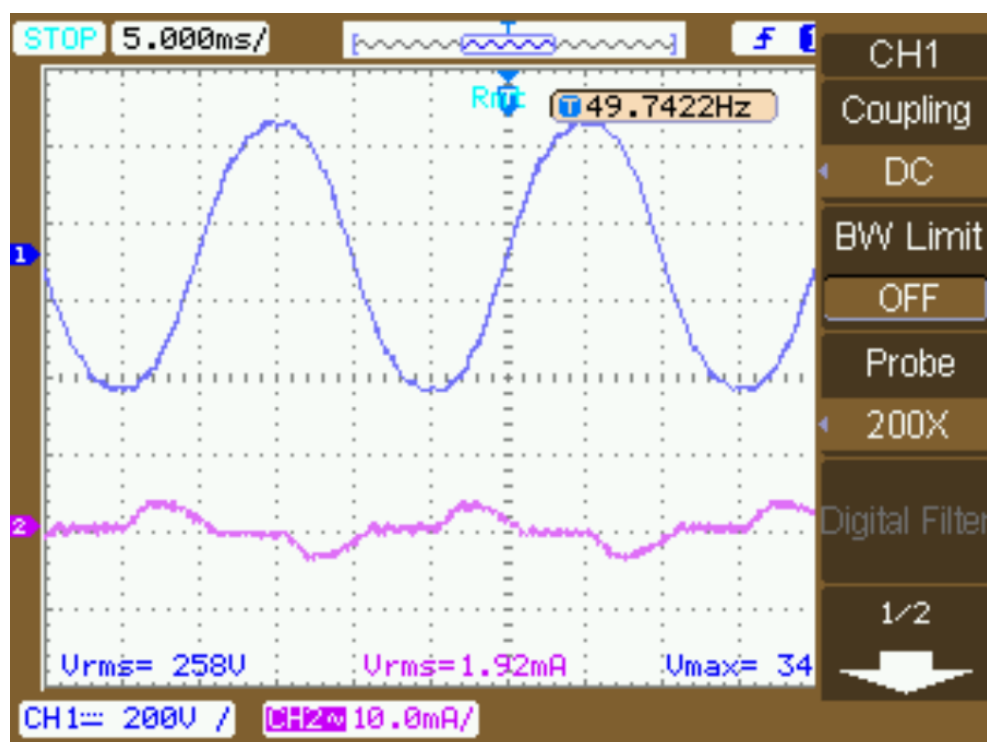
Kuva 26. 3-vaihemoottorin muuttaminen 1-vaiheiseksi

5.2.8 Pehmökäynnistys

Moottorikuormaa kokeiltiin myös pehmökäynnistimellä ja tutkittiin miten se vaikuttaa generaattorin toimintaan. Generaattorin toiminnassa ei havaittu ainakaan näin pienillä tehoilla mitään normaalista poikkeavaa. Suuremmilla tehoilla varsinkin pehmökäynnistimen rampinvaihe aiheuttaa virran säröytymistä.

Kuormamoottorin tiedot:

- Valmistaja: ELIN KM 34
- Jännite ja virta: D 380V / 1.1A
- Teho: 0.37 kW
- Pyörimisnopeus: 1350 1/min
- Tehokerroin: 0.75



Kuva 27. Moottori Y-kytkennällä, jännite 200V/ruutu (258 Vrms), virta 1A/ruutu (0.192 Arms)

Kuvasta 27 nähdään miten pehmökäynnistimen generaattorilta ottama virta näkyy rampin loppuvaiheilla. Virta on hieman porrastettu, mikä johtuu tyristorien liipaisusta aiheutuvista kytkentä ilmiöistä.

5.2.9 Kuormitus päällä käynnistys

Generaattori alkoi todella hitaasti nostaa liitinjännitettä 55W kuormalla magnetoinnin ollessa 1611 Var, suuremmalla kuormitusportaalla generaattori ei enää kyennyt nostamaan jännitettä ollenkaan. Magnetoinnin ollessa 2850 Var, generaattori lähti ”käyntiin” vielä 440W resistiivisellä kuormalla, mutta ei enää 880W kuormalla

Yhteenvedona mittauksista voisi päätellä, että yksivaiheinen kuormitus on paras, koska sillä saadaan suurin vaihekohtainen teho aikaiseksi. Tämä oli varsin yllättävää, kun vertaa esim. kiinteistöasennuksiin, joissa vaihekohtainen teho pysyy vakiona, oli kuormitus yksi tai kolmivaiheinen. Toinen tärkeä asia on mitoittaa generaattorille alijännitesuoja, joka kytkee kuorman irti, mikäli jännite laskee esim. 10 % nimellisarvosta. Alijännitesuojan avulla vältetään generaattorin magnetoinnin katoamiselta. Generaattori ei välttämättä tarvitse mitään ylikuormitussuojaa, koska oikosulkutilanteessa alkaa jännite laskea nopeasti, mikä johtaa magnetoinnin katoamiseen.

5.3 Epätahtigeneraattorin valinta

Prototyypin generaattorin tehoksi oli määritelty alustavassa suunnitelmassa 5-7.5 kW ja kierrosnopeudeksi 1500 1/min. Moottoria valitessa täytyy ottaa huomioon miten päin se tulee olemaan ja miten se kiinnitetään telapyöräkoneiston runkoon. Päädyimme konepuolen suunnittelijan kanssa siihen tulokseen, että moottori on omilla jaloillaan kiinnirungossa vaaka-asennossa. Moottoriksi valittiin ABB:n tuotevalikoimasta Kuvan 3 mukainen moottori.

IP 55 - IC 411 - Insulation class F, temperature rise class B
IE2 efficiency class according to IEC 60034-30; 2008

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-2-1; 2007			Power factor cos φ	Current		Torque			Moment of inertia J = 1/4 GD ² kgm ²	Weight kg	Sound pressure level L _{PA} dB
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I _N A	I _s I _N	T _N Nm	T _i T _N	T _b T _N			
1500 r/min = 4 poles				400 V 50 Hz				CENELEC-design							
0.25	M2BA 71 MA	3GBA 072 211-●●B	1365	68.3	70.8	69.7	0.81	0.65	3.5	1.74	1.9	2.0	0.00074	10	45
0.37	M2BA 71 MB	3GBA 072 212-●●B	1380	72.4	74.5	74.6	0.83	0.88	4.0	2.5	1.6	2.1	0.00088	11	45
0.55	M2BA 80 MA	3GBA 082 211-●●B	1415	74.5	73.8	70.0	0.73	1.45	5.0	3.7	2.0	2.8	0.00144	15	45
0.75	M2BA 80 MD	3GBA 082 214-●●B	1430	81.0	80.7	77.3	0.73	1.83	5.3	5	2.7	3.2	0.00205	17	50
1.1	M2BA 90 SLB	3GBA 092 212-●●B	1435	83.6	84.5	83.2	0.80	2.3	6.1	7.3	2.7	3.4	0.0044	25	50
1.5	M2BA 90 SLD	3GBA 092 215-●●B	1430	84.3	85.6	84.7	0.83	3	6.3	10	2.7	3.4	0.0053	27	56
2.2	M2BA 100 LC	3GBA 102 213-●●B	1450	85.9	85.1	83.4	0.78	4.7	6.4	14.4	2.9	3.6	0.00948	36	56
3	M2BA 100 LD	3GBA 102 214-●●B	1450	86.8	87.0	85.4	0.79	6.3	7.7	19.7	2.9	3.4	0.011	38	58
4	M2BA 112 MB	3GBA 112 212-●●B	1440	86.8	87.7	87.3	0.81	8.2	7.0	26.5	2.5	2.9	0.0125	44	59
5.5	M2BA 132 SMB	3GBA 132 212-●●B	1460	89.0	89.8	88.9	0.80	11.1	5.9	35.9	1.7	2.4	0.03282	70	67
7.5	M2BA 132 SMC	3GBA 132 213-●●B	1450	89.3	90.1	90.0	0.81	14.9	5.6	49.3	1.6	2.4	0.03659	73	64
11	M2BA 160 MLA	3GBA 162 043-●●G	1463	90.2	91.4	91.2	0.85	20.7	7.1	71.7	2.6	3.0	0.084	134	65

Kuva 28. Valittu moottori

5.4 Kondensaattorien valinta magnetointiin

Kuvan 3 moottoritaulukon moottorille sopiva magnetointikondensaattori on seuraavanlainen.

Lasketaan kondensaattori valitulle moottorille:

Moottorin hyötysuhde on:

$$\eta = 89,3 \%$$

$$P = \eta * P_{\text{akseli}} = 0,893 * 7500W = 8389W$$

$$S = \eta * \cos\varphi * P = 0,893 * 0,81 * 7500W = 10369VA$$

$$Q = P * \tan(33,9^\circ) = 2444W * \tan(33,9^\circ) = 5429Var$$

Vaihekohtainen loisteho:

$$Q_{L1} = \frac{5429Var}{3} = 1809Var$$

Lasketaan yhden kondensaattorin kapasitanssi:

$$Q = U_V * I_V * \sin(90^\circ)$$

Lasketaan loisvirta yhdenkondensaattorin loistehosta:

$$I = \frac{1809\text{Var}}{230\text{V} * \sin(90^\circ)} = 7,87\text{A}$$

Kondensaattorin reaktanssi 50 Hz taajuudella on:

$$X_c = \frac{U}{I} = \frac{230\text{V}}{7,87\text{A}} = 29,24\Omega$$

Ratkaistaan kondensaattorin kapasitanssi C edellä lasketun reaktanssin X_c avulla:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C} = \frac{1}{2\pi * 50\text{Hz} * C} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi * 50\text{Hz} * 29,24\Omega} = 109\mu\text{F}$$

Magnetointikondensaattori mitoitettiin sen mukaan mitä moottori ottaisi loistehoa verkkoon kytkettynä. Laboratoriomittauksissa havaittiin, että generaattorin magnetointia olisi hyvä kasvattaa liitinjännitteen laskiessa. Generaattori ei voi olla ylimagnetoituna koko ajan, koska jännite nousisi pienillä kuormituksilla ja varsinkin tyhjäkäynnillä liian suureksi. Hyvin toteutettu magnetointi näin ollen sisältäisi jonkinlaisen loistehon säätimen, joka säätäisi magnetoinnin aina sopivaksi kuormituksen ollessa mikä tahansa. Magnetointia ei voida kasvattaa loputtomiin, koska lopulta loistehoa on niin paljon, että sen aiheuttamat häviöt lämmittävät generaattoria liikaa.

Kondensaattoreita valmistetaan kapasitanssiarvoiltaan tietyin välein. Valitulle generaattorille laskettu 109uF kondensaattori on sellainen arvo jota ei löydy suoraan, vaan vaihekohtainen kondensaattoriparisto joudutaan tekemään kahdesta esim. 100uF ja 10uF kondensaattorista rinnankytkettynä. Kondensaattoria valitessa täytyy ottaa huomioon riittävä jännitteen kesto, ympäristö sekä käyttökohde. Tällaisissa kohteissa käytetään tyypillisesti filmikondensaattoreita, jotka on rullattu sylinterimäiseen muotoon. (Motor capacitors 2012)

Valitun kondensaattorin tiedot:



Kuva 29. Viitteellinen kuva valitusta 100uF kondensaattorista.

Kondensaattorin tiedot:

- Kapasitanssi: 100µF
- Kapasitanssin toleranssi: $\pm 5 \%$
- Nimellis äännite: 350V
- Elinikä @ Lämpötila: 100000 h @ 70°C
- Kotelointi: CAN
- Liitokset: Ruuvi
- Halkaisija: 63.5mm
- Korkeus: 107mm
- Käyttölämpötila: - 40°C to +70°C

Valitun kondensaattorin tiedot:

- Kondensaattori, 10uF, 450VAC
- Kapasitanssi: 10μF
- Toleranssi: $\pm 5\%$
- Eristeaine: Polypropyleeni (PP)
- Nimellisjännite: 450V AC
- Elinikä @ Lämpötila: 3000 hours @ 85°C
- Kotelointi: CAN
- Halkaisija: 36mm
- Käyttökohteet: Motor Start / Motor Run
- Korkeus: 58mm
- Käyttölämpötila: -25°C to +85°C



KUVA 30. Viitteellinen kuva valitusta 10uF kondensaattorista.

6 SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

6.1 Suojaus

Siirrettävien aggregaattien pitää olla siten varustettuja, että niitä voidaan käyttää ilman erityistoimenpiteitä. Suurin osa varsinkin pienitehoisten aggregaattien käyttäjistä ovat maallikkoja, siksi on tärkeää, että aggregaatissa on tarvittavat suojalaitteet ja selvät merkinnät, että sitä on helppo käyttää ja että sen mukana on selvät hoito- sekä käyttöohjeet.

6.1.1 Kotelointiluokka

IP-luokituksen pitää vastata vähintään niitä olosuhteita, joissa aggregaattia todellisuudessa käytetään. Laitteen, joka on alttiina sateelle ja on asennettu enintään 0,5m etäisyydelle vaakatasosta tai kaltevasta pinnasta (maanpinta, lattia, vesikatto) kotelointiluokan tulee olla vähintään IPX4. (SFS-6000 EN 60529 2007). Mikäli aggregaatti koteloidaan riittävän suojauksen saavuttamiseksi, on muistettava huolehtia riittävän jäähdytysilman saannista.

6.1.2 Maadoittaminen

Siirrettävää aggregaattia ei tarvitse välttämättä maadoittaa, jos se on sähköisesti erotettu. Tällöin sillä syötetään korkeitaan yhtä laitetta kerrallaan tai useampaa, jos tila on suojattu käyttämällä eristettyä ympäristöä, eikä tilassa ole suojajohtimia (SFS 6000-4-41.Liite 41C 2007). Mikäli aggregaatilla on mahdollista syöttää kiinteää sähkölaitteistoa siten, että laitteisto on erillään yleisen jakeluverkonmaadoituksesta, tulee sähkölaitteistolle aina rakentaa oma maadoituselektrodi. Maadoituselektrodi tarvitaan myös TN- ja IT-järjestelmille. ST-kortin (52.40) mukaan on tärkeää, että kaikkien sähköä käyttävien laitteiden jännitteelle alttiit osat tulevat yhdistetyksi toisiinsa, mikä automaattisesti tapahtuukin liitäntäjohtojen suojamaadoitusjohtimien kautta. Laitteita joissa on kaksoiseristys tai vahvistettu eristys (luokan II sähkölaite), tämä ei koske. (SFS-EN 60417-5172: Luokan II sähkölaite)

Maadoittamattoman aggregaatin vikavirtasuojaja ei laukea viassa ”oikeaan maahan”, mutta laukeaa jännitteisen osan ja jännitteelle alttiin osan (vaihejohtimen ja laitteen kuoren)

välisessä viassa. Jos generaattorin tähtipiste yhdistetään maahan, vikavirtasuoja toimii normaalilla tavalla esim. viassa jossa vaihe on kosketuksissa suojamaan kanssa. Vikavirtasuoja lisää henkilösuojausta ja nopeuttaa poiskytkentäaika vikatilanteessa.

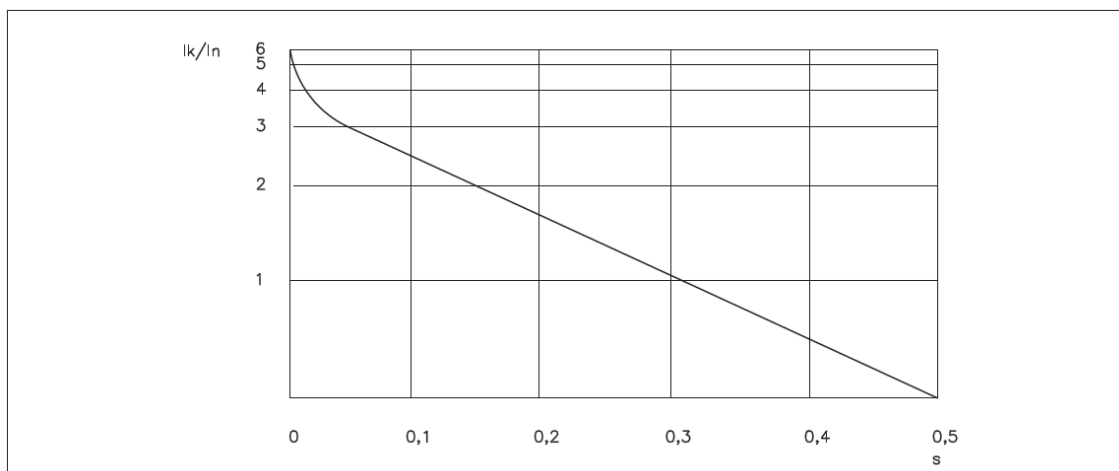
6.1.3 Vikasuojaus ja poiskytkentä

Varavoimakoneella, jolla syötetään laitteistoa tai vaikka kesämökkiä, pitää olla varustettu suojalla, joka vikatapauksessa automaattisesti suorittaa nopean ja varman varavoimakoneeseen liitettyjen kohteiden irtikytkeytymisen. Suojalaitteiden pitää olla sellaisia ja siten mitoitetuja, että ne suojaavat sähköiskulta mutta myös vahingolliselta lämpövaikutukselta johdoissa tai muissa liitetyissä laitteissa. (SEK Handbok 447 2013)

Varavoimakoneiden generaattoreista osa on sellaisia, jotka pystyvät syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa ja osa sellaisia, jotka tuottavat nopeasti vaimenevan virtapiikin.

Mikäli generaattori ei pysty tuottamaan jatkuvaa oikosulkuvirtaa, ei voida mitoittaa suojasta perinteisesti oikosulkuvirtaan perustuen. Tyypillinen tällainen tilanne on, kun generaattorina toimii oikosulkumoottori joka on magnetoitu kondensaattoreilla. Tällöin yksi vaihtoehto on vakioaikaylivirtasuojaus, joka toimii vikatilanteessa oikosulkusuojana ja kytkee generaattorin irti kuormasta. Toinen vaihtoehto on käyttää alijännitesuojasta: Kun generaattorin liitinjännite laskee alle asetetun arvon, kytkee suojalaite kuorman irti. (ST-kortti 52.40 2012)

Generaattoreissa, jotka eivät pysty tuottamaan jatkuvaa oikosulkuvirtaa, on mahdollista käyttää lisäsuojana gG tulppasulakkeita tai automaattisia johdonsuojakatkaisijoita. ST kortin (52.40) mukaan on esitetty osittain kokemuseräistä tietoa liittyen tulppasulakkeiden sekä johdonsuojakatkaisijoiden valintaan.



KUVA 31. ST-52.40 Esimerkki generaattorin virtakäyrä. Generaattori ei syötä jatkuvaa oikosulkuvirtaa.

1. Aggregaatin nimellisvirta on 24 A $\cos \phi = 1$, jatkuva nimellisteho 6 kVA:
 - B-tyyppin johdonsuojakatkaisija 10 A asti
 - C-tyyppin johdonsuojakatkaisija 6 A asti
 - gG-tyyppin tulppasulake 6 A asti
2. Aggregaatin nimellisvirta 100 A $\cos \phi = 1$, jatkuva nimellisteho 69 kVA:
 - B-tyyppin johdonsuojakatkaisijat 50 A asti
 - C-tyyppin johdonsuojakatkaisijat 25 A asti
 - D-tyyppin johdonsuojakatkaisijat 10 A asti
 - gG-tyyppin tulppasulake 35 A asti.

KUVA 32. ST-52.40 Esimerkkigeneraattorille mahdollisesti sopivia sulakekokoja

Asennusstandardin kohdan 411.3.2 (ja 411.3.2.5) mukaan vaarallinen kosketusjännite pitää kytkeä pois, jos sen pidempiaikainen arvo ($> 0,4$ s 32 A asti, muut > 5 s) ylittää 50 V (vaihtojännitettä, jos muuta ei mainita). Pienten aggregaattien turvallisuus perustuu siihen, ettei rajaa pitkäaikaisesti ylitetä. Niissä napajännite häviää oikosulussa nopeasti.

Usein pienet generaattorit, jotka eivät pysty tuottamaan jatkuvaa oikosulkuvirtaa ovat sellaisia järjestelmiä missä normaalisti käytettävät suojalaitteet eivät yleensä toimi, kuten kuvasta 5 voi päätellä. Generaattorin ja sen pääsyötön oikosulkusuojauksen pitää siis perustua muihin suojausmenetelmiin. Vaihtoehtoisia menetelmiä ovat mm. vikavirtasuojakytkimen käyttö TN-S-järjestelmässä ja alijännitelaukaisun käyttö.

Vikavirtasuojakytkin täyttää nopean laukaisun ehdot rakenteensa perusteella helposti. Nimellistoimintavirrallaan 30 mA:n vikavirtasuojakytkin toimii 0,3 sekunnissa jo nimellistoimintavirrallaan. Mikäli vikavirran arvo nousee esim. 150 mA:iin, suojalaite toimii 0,04 sekunnissa. Vikavirtasuojakytkin toimii kuitenkin käytännössä vain TN-S-järjestelmässä, jossa generaattorin tähtipiste on maadoitettu. Tämä edellyttää siis maadoituselektrodin asentamista aggregaattiin, jos suojalaite on aggregaatissa. Edellä kuvattua, enintään 30 mA:n vikavirtasuojakytkintä edellytetään vain tietyn tyyppisissä henkilösuojaukseen liittyvissä tapauksissa, kuten esimerkiksi pistorasioiden ja tiettyjen maa- ja puutarhatalouden asennusten lisäsuojauksessa.

Kiinteän asennuksen nopean laukaisun ehdot voidaan normaalisti TN-S-järjestelmissä toteuttaa käyttäen vikavirtasuojakytkintä. Muussa kuin henkilösuojauksessa (esim. palosuojaukseen, yli 32 A virtapiiriensuojaus) voidaan käyttää 100, 300 tai 500 mA:n vikavirtasuojakytkimiä. (ST-52.40 2012)

6.2 Suojalaitteiden valinta ja mitoitus prototyyppilaitteistolle

6.2.1 Ali ja ylijännitesuojaus

Jos generaattori rakenteensa vuoksi ei voi tuottaa suurempaa jännitettä kuin nimellisjännite +10%, ei ylijännitesuojaa tarvita. Prototyyppilaitteistolla voidaan tuottaa reilusti yli +10% jännitteitä. Tyypillinen tällainen tilanne on, jos voimakone, tässä tapauksessa henkilöauton moottori, jostain syystä alkaa käydä nopeammin. Käyntihäiriö voi johtua esim. polttoaineen vähyydestä. Tällöin varsinkin vanhemmissa autoissa polttoaineseos menee laihaksi ja kierrokset kasvavat, mistä seuraa kierrosnopeudesta riippuen mahdollinen ylijännitetilanne.

Toinen mahdollinen tilanne on kun generaattorin käyttöönotossa kierrosnopeudet säädetään väärin. Suojan pitää olla kolmivaiheinen yli- ja alijännitesuojalla sekä vähintään kiinteällä asettelulla -15%...+10%. Suoja täytyy olla myös varustettu laukaisun aikaviveellä, joka saa olla enintään 5s. Suojan pitää seurata jokaisen vaiheen vaihejännitettä ja sietää tavallisia kytkentäylijännitteitä ja laueta jos suojassa itsessään on vika. (SEK Handbok 447 2013)

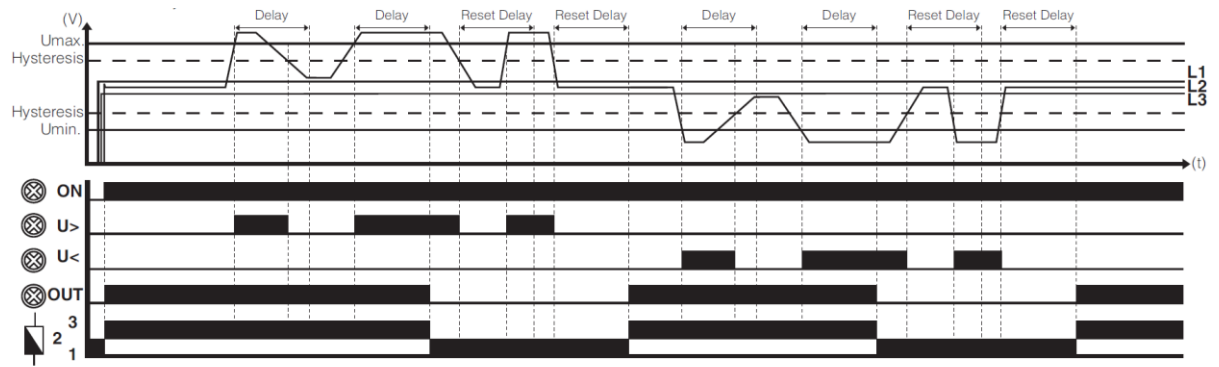
SLO:n tuotevalikoimasta löytyi seuraavanlainen suoja, joka sisältää sekä yli- että alijännitesuojauksen.

Tekniset tiedot:

- Käyttöjännite: 230V
- Ylijännite asettelu (U_{\max}): 240 - 300Vac
- Alijännite asettelu (U_{\min}): 150 – 210Vac
- Laukaisuviive päälle: 0,1-20s
- Laukaisuviive pois: 0,1-20s
- Relelähtö: 8A, 250V, 2000VA (tehokerroin=1)
- Mittaus: Vaihekohtainen True RMS
- Käyttölämpötila: $-5^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$



Kuva 33. Viiteellinen kuva ENTES GKRC-02F Ali- ja ylijännitesuojarele.





Kuva 34. Ali- ja ylijännitesuojareleen laukaisukäyrä

ST-kortin (52.40) mukaan suojan olisi hyvä toimia erillisellä akulla, jolloin jännitteen notkahtelut eivät vaikuta kontaktorin vetämiseen ja samalla alijännitesuojan toimintaan. Tällöin alijännitesuoja ei olisi myöskään riippuvainen taajuuden muutoksista. Prototyyppilaitteiston alijännitesuojaus ei vaadi erillistä akkua, koska alijännitesuojan ohjaama kontaktori aukeaa, kun sen ohjausjännite katoaa, jolloin kuormitus kytkeytyy irti.

Valittu kontaktori suojalaitteelle

Ordering Details

IEC	UL/CSA	Control voltage U_c min. ... U_c max.		Auxiliary contacts fitted	Type	Order code	Weight
AC-1 Rated current $\theta \leq 40^\circ\text{C}$ A	General use rating 600 V AC A	V 50/60 Hz	V DC	 			Pack ^(ing) 1 piece kg

4 N.O. Main Poles

25	25	24...60	20...60	0 0	AF09-40-00-11	1SBL 137 201 R1100	0.270
		48...130	48...130	0 0	AF09-40-00-12	1SBL 137 201 R1200	0.270
		100...250	100...250	0 0	AF09-40-00-13	1SBL 137 201 R1300	0.270
		250...500	250...500	0 0	AF09-40-00-14	1SBL 137 201 R1400	0.310
30	30	24...60	20...60	0 0	AF16-40-00-11	1SBL 177 201 R1100	0.270
		48...130	48...130	0 0	AF16-40-00-12	1SBL 177 201 R1200	0.270
		100...250	100...250	0 0	AF16-40-00-13	1SBL 177 201 R1300	0.270
		250...500	250...500	0 0	AF16-40-00-14	1SBL 177 201 R1400	0.310
45	45	24...60	20...60	0 0	AF26-40-00-11	1SBL 237 201 R1100	0.360
		48...130	48...130	0 0	AF26-40-00-12	1SBL 237 201 R1200	0.360
		100...250	100...250	0 0	AF26-40-00-13	1SBL 237 201 R1300	0.360
		250...500	250...500	0 0	AF26-40-00-14	1SBL 237 201 R1400	0.400
55	55	24...60	20...60	0 0	AF38-40-00-11	1SBL 297 201 R1100	0.360
		48...130	48...130	0 0	AF38-40-00-12	1SBL 297 201 R1200	0.360
		100...250	100...250	0 0	AF38-40-00-13	1SBL 297 201 R1300	0.360
		250...500	250...500	0 0	AF38-40-00-14	1SBL 297 201 R1400	0.400

Kuva 35. Valittu kontaktori



Kuva 36. ABB:n 4-napainen kontaktori

6.2.2 Vikavirtasuojakytkin

Pienillä aggregaatin nimellisvirroilla eivät asennuksen normaalit suojalaitteet yleensä toimi, kuten 1. esimerkistä voi päätellä. Generaattorin ja sen pääsyötön oikosulkusuojausten pitää siis perustua muihin suojausmenetelmiin. Käyttökelpoisia menetelmiä ovat vikavirtasuojakytkimen käyttö TN-S-järjestelmässä ja alijännitesuojan käyttö.

Valintaan vaikuttavia asioita:

- kytkentäpaikka (sähkökeskus, kojerasia tai pistoke)
- käyttötarkoitus (henkilösuojaus, palosuojaus)
- vikavirran suuruus (yleensä 10/30/300/500 mA)
- vikavirtasuojan virrankesto
- vaiheiden määrä
- toimintajännite

Prototyypilaitteisto on suunniteltu siten, että sitä tullaan käyttämään lähinnä siirrettävänä, eli sitä ei välttämättä asenneta kiinteästi. Generaattorilla voidaan kuitenkin syöttää kiinteitä kohteita esim. kesämökkiä tai huvimajaa, koska siinä on erillinen lähtö kiinteälle syötölle sekä maadoituselektrodille. Kuormalaitteet ovat lähinnä kodin sähkölaitteita, valaisimia ja ehkä suurimpana kuormituksen vesipumppu tai vastaava moottorikäyt-

tö. Generaattoria voidaan käyttää myös suoraan kytkentä kotelossa olevista pistorasioista. Asennus-standardisarjan SFS 6000 standardin SFS 6000-4-41 kohdassa 411.3.3 edellytetään, että kaikki enintään 20 A:n tavanomaiset maallikoille tarkoitetut pistorasiat ja enintään 32 A:n ulkopistorasiat on suojattava A-tyyppin enintään 30 mA:n vikavirtasuojakytkimellä (SFS 6000-5-53. Taulukko O.531B). Tällöin valitaan henkilösuojaukseen sopiva vikavirtasuojakytkin eli A-tyyppin 30mA laukaisuvirralla oleva vikavirtasuojakytkin



Kuva 37. Hager Vikavirtasuojakytkin, 4x25A 30mA sähkönumero:3260813.

6.2.3 Johdonsuojakatkaisijat

Aiemmin todettiin kohdassa 6.1.3, että sulakesuojaus tai johdonsuojakatkaisijan käyttö generaattorissa, joka ei pysty pitämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa, ei ole hyvä valinta nopeaan vian poiskytkentään. Sitä voidaan kuitenkin käyttää lisäsuojana vikavirtasuojan tai alijännitesuojan kanssa.

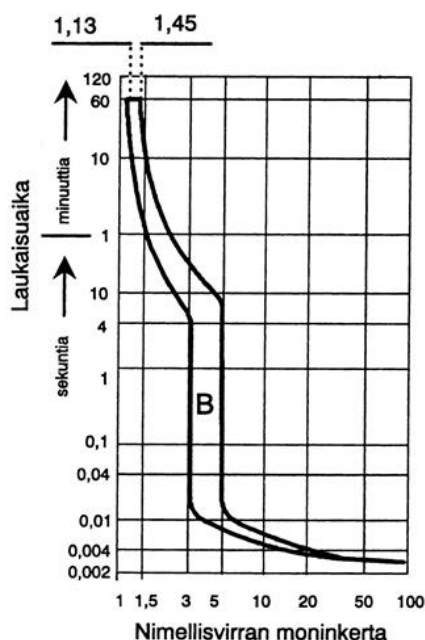
Johdonsuojakatkaisijat luokitellaan useaan luokkaan niiden laukaisukäyrien perusteella. K, Z ja A ovat valmistajakohtaisia laukaisukäyriä.

- B-käyrä resistiivisille kuormille, lämmitykseen, valaistukseen
- C-käyrä kuten B, mutta lisäksi sekä lievästi induktiivisille ja kapasitiivisille kuormille.
- D-käyrä voimakkaasti induktiivisille ja kapasitiivisille kuormille, ovat tarkoitettu sovelluksiin, joilla on suurempi käynnistysvirtapiikki.
- K-laukaisukäyrä on kuten D-käyrä, käytetään kaapeli- ja laitesuojaukseen, kuten moottorit, muuntajat, automaatio. Valitaan moottorin nimellisvirran perusteella.

Magneettisella laukaisulla moottorin käynnistysvirta ei aiheuta laukaisua. Voimakkaasti induktiiviset kuormat, moottorit, muuntajat, purkaussuurpainenatriumlampit, sähkötyökalut, hitsauskoneet

- Z- ja A-laukaisukäyrä on tarkoitettu puolijohteiden, tyristoriden, diodien sekä jännite- ja mittamuuntajien suojaukseen kuin myös alhaisten kosketusvirtojen omaaviin, kuten ohjausvirtapiirit. (Turun Yliopisto ylivirtasuojaus 2013)

Valitun generaattorin nimellisvirta on 14,9A(400V), josta vaihekohtainen virta on 4,96A. Oletetaan, että kuvan 5 (ST-52.40 Esimerkki generaattorin virtakäyrä. Generaattori ei syötä jatkuvaa oikosulkuvirtaa.) mukaan generaattorin oikosulkuvirta olisi 0,05s aikana noin 15A eli kolminkertainen. Tällöin tarvittaisiin sellainen johdonsuojakatkaisija, joka katkaisee 4s aikana kolminkertaisella nimellisvirralla. Sopiva johdonsuoja on B-käyrä/5A, mutta toiminnan ja selektiivisyyden varmistamiseksi valitaan B-käyrä/4A johdonsuoja.



Kuva. 38. B laukaisukäyrä. (Turun Yliopisto, ylivirtasuojaus 2013)

Generaattorin oikosulkuvirta olisi hyvä todentaa mittaamalla, ennen kuin suojalaitetta aletaan mitoittaa. Näin varmistettaisiin oikean kokoisen suojalaitteen valinta ja sen toiminta.

Valittu johdonsuoja:



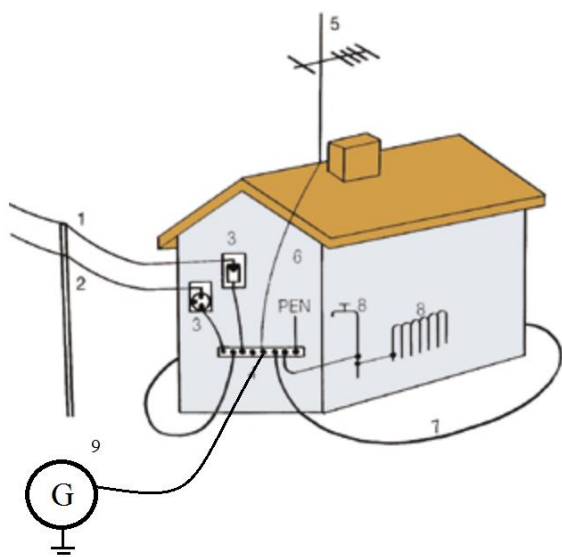
Kuva 39. MERLIN GERIN - C60HB104 - 4A, 1NAP, Käyrä-B

6.2.4 Maadoituselektrodi

Sanastostandardi IEC 60050-826 määrittelee maadoituselektrodin seuraavasti: johtava osa, joka on sähköisessä yhteydessä maahan ja voi olla upotettu erityiseen johtavaan väliaineeseen, esimerkiksi betoniin. Jokaisessa sähköliittymässä tulee olla maadoituselektrodi. Samoin, jos sähköliittymän sisäisessä, rakennusten ulkopuolisessa verkossa käytetään PEN-johdinta, maadoituselektrodi tulee olla jokaisen vähintään 200 metrin pituisen johtohaaran päässä tai enintään 200 metrin etäisyydellä siitä.

Pienjänniteliittymän maadoituselektrodille ei ole vaatimuksia suurimmasta sallitusta maadoitusresistanssin arvosta. Elektrodivaatimuksilla pyritään ensisijaisesti hyvään potentiaalintasausvaikutukseen. TN-järjestelmään liitetyn pienjännitemaadoituselektrodin tärkein tehtävä on pienentää vian aikaisia jännitteitä sekä parantaa potentiaalintasausta ja häiriösuojausta. (SFS 6000-5-52 Liite 54D) Pieni maadoitusresistanssin arvo parantaa kuitenkin laitteiston käytön turvallisuutta PEN-johtimen katketessa jakeluverkoissa.

Perustusmaadoituselektrodilla tarkoitetaan yleensä suljetun renkaan muotoista johtavaa osaa, joka on upotettu maahan rakennusten perustusten alle tai ensisijaisesti upotettu rakennusten perustuksen betoniin. Vanhoissa rakennuksissa maadoituselektrodilenkki voidaan upottaa perustusten ympärille. Maadoituselektrodin minimi poikkipinta-ala on 16 mm^2 kupari tai 90 mm^2 kuumasinkittyä tai ruostumatonta terästä. Maadoituselektrodi voidaan tehdä mm. teräsnauhasta (litteä), teräslangasta tai –langoista sekä kuparilangasta tai –köydestä.



Kuva 40. Periaatekuva maadoituksesta (7.Maadoituselektrodi, 9.Varavoimakone)

Maadoituselektrodi kannattaa rakentaa aina kohdekohtaisesti eikä esim. kuljettaa sitä generaattorin mukana paikasta toiseen. Tällä tavoin generaattorin liittäminen rakennukseen käy nopeasti ja helposti.

6.3 Laitteen hallinta ja liitynnät

Varavoimakonetta pitää pystyä hallitsemaan ja siihen pitää pystyä liittämään kuormalaitteita. Alustavassa suunnitelmassa ei ollut sen tarkasti määritelty miten paljon mitä ja ulosottoja laitteessa pitää olla, joten mallia otettiin vastaavan tehoisista kaupallisista tuotteista.

6.3.1 Kytkenäkotelo

Kytkenäkoteloksi valittiin Ensto:n tuotteista kirkaskantinen malli, koska tällöin on helppo havaita jos johdonsuojakatkaisija tai ylijännitesuoja on toiminut. Johdonsuojakytkimet ja muut DIN-kiskoon asennettavat komponentit eivät ole IPx4 luokiteltuja, joten ne täytyy suojata erillisellä kannella tai vastaavalla. Pääkytkimen väännin on tarkoitus asentaa kirkkaaseen kanteen ja kotelon kylkiin asennetaan pistorasia ja johtojen läpiviennit. Generaattorilta tulevan syötön ja mahdollisen kiinteän rakennuksen tai kohteen syötön kaapelit kulkevat kuvan 342 kaltaisten läpivientiholkkien läpi. Näin saavutetaan riittävä kotelointiluokka ja kaapelin vedonpoisto.



Kuva 41. Läpivientiholkki

Nimi Cubo

O-kotelo

Koko 200 x 400 x 185 mm, sileät sivut, kirkas kansi, PC

Kuvaus Ensto Cubo O -sarja sisältää aukkoaihioilla varustettuja tai sileäsivuisia koteiloita, joiden kokoluokka vaihtelee keskisuuresta suureen. Sarjan erikoisominaisuuksiin kuuluu mahdollisuus kannen taustakiinnitykseen sekä asennusalan tai etulevyjen kiinnitys mahdollisuus mille korkeudelle tahansa kätevien hissipalojen ansiosta.



Kuva 42. ENSTO CUBO sarjan muovikotelo kirkkaalla kannella.

6.3.2 Pääkytkin

Pääkytkimen pitää olla 4-napainen eli sillä täytyy pystyä katkaisemaan myös nollajohdin samaan aikaan vaiheiden kanssa. Pääkytkin on DIN kiskostoon asennettavissa. Pääkytkimeksi valittiin ENSTO:n valmistama 40A 4-napainen vääntökytkin, johon tarvitaan lisävarusteena saatava jatkovarsi ja väännin. Näillä komponenteilla saadaan kotelointiluokka pysymään vähintään IPx4 luokassa.



Kuva 43. Pääkytkin jatkovarrella ja IP54 vääntimellä.

6.3.3 Pistorasiat

Prototyyppilaitteisto varustetaan kahdella schuko pistorasialla sekä yhdellä 5-napaisella CEE 3-vaihepistorasialla.

Pistorasia 1-osainen pinta, IP44, maadoitettu, jousiliittimin

Tuotekuvaus:

Pistorasiassa on liittimet jokaista kosketinta kohden, niihin voidaan kytkeä maksimissaan 2 johdinta. Liittimet on hyväksytty ML ja MK johtimille.

Tekniset tiedot

- 16A 250VAC
- Suojausluokka IP 44
- Materiaali PC (halogeeni vapaa)
- Hyväksynät CE, Semko
- EAN 6438140224118
- Sähkönumero: 2443702



Kuva 44. Pistorasia 1-osainen pinta, IP44, maadoitettu, jousiliittimin

Valittu 3-vaihepistorasia.



Kuva 45. 3-vaihepistorasia 16A5P400V IP44 85X85MM

6.3.4 Mittalaitteet

Yleinen suositus on, että valvontaa varten pitää 5...50 kVA generaattorissa olla vähintään

- Jännitemittari tai muu järjestely jännitteen mittaamista varten vähintään yhdessä vaiheessa
- taajuuden osoitus

Ulkokäytössä pitää valvontalaitteiden toimia kun lämpötila on välillä $-25^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$.

Mittalaitteiksi valittiin teollisuudessa käytettyjä paneelimittareita, jotka ovat luotettavia ja riittävän tarkkoja mittalaitteita. Prototyyppiä ajatellen niissä on riittävän suuri asteikko jota pystyy lukemaan kuljettajapuoleisesta ikkunasta helposti, mikäli generaattoria

pyöritetään kuljettajapuoleisella eturenkaalla. Mittarit tullaan asentamaan kytkentäkotelon sisään kirkkaan kannen alle, koska mittareiden kotelointiluokasta ei ole varmuutta.



Kuva 46 . F72FP taajuusmittari 45-55 Hz 230V Koodi: 1F72FP_455_D2
10,00 € (alv 0%)



Kuva 47. Jännitemittari 500V

7 KUSTANNUSARVIO

Alustavassa suunnitelmassa oli mainittu, että prototyypistä tehdään kustannusarvio.

Kustannusarvio tehdään ainoastaan komponenttihankinnoista eli tähän ei lasketa suunnittelu tai valmistuskuluja. Kustannusarviossa ei ole myöskään puututtu komponenttien toimituskuluihin. Kustannusarvio on lähinnä suuntaa antava ja koottu eri yritysten verkkosivuilla ilmiötetuista listahinnoista.

TAULUKKO 2. Prototyypilaitteiston kustannusarvio (sähkökomponentit).

Tuote	Valmistaja	Tyyppi	Määrä /kpl	Keskihinta/€/kpl	Myyjä	Sähkönumero
Pääkytkin varusteilla	Ensto	4Nap, 40A, IP54	1	100	Onninen Oy	-
Epätahtimoottori	ABB	M2BA132SMC 7.5KW	1	900	Onninen Oy	86 210 10
KytKentäkotelo	Ensto Oy Ab	CUBO-O, kirkas kansi pc	1	150	SLO	34 424 55
Kondesaattori	Epcos	B32360 100uF	3	25	Farnell	-
Kondesaattori	Ducati	4.16.10.15.64 10uF	3	15	Farnell	-
Alijännitesuoja	Entes	GKRC-02F	1	78	SLO	27 030 03
Kontaktori	ABB	AF09-40-00-13	1	40	Onninen Oy	3706330
Asennustarvikkeet	-	-	1	60	Onninen Oy	-
Jännitemittari	-	500Vac	1	15	www.murri.fi	-
Taajuusmittari	-	F72FP 45-55Hz	1	11	www.murri.fi	-
Vikavirtakytkin	Hager	4x25A 30mA	1	43	www.sahkokaluste.fi	32 608 13
Johdonsuojakytkin	Merlin	C60HB104	3	15	Farnell	-
Schuko pistorasia	Etman	16A/250V, IP44	2	12	www.sahkotuote.fi	2443702
5-napainen 3-vaihepr	-	16/400V , IP44	1	10	www.sahkotuote.fi	-
Yhteensä:				1596 €, sis. avl 24%		

Mekaaninen osuus (osat) maksaa noin 800€, eli yhteishinnaksi laitteelle tulee noin 2400€. Komponenteille tulee hintaa varsin paljon, mutta komponentin kappalehintaa putoaa jos niitä hankitaan isommissa erissä. Arvokkain komponentti on generaattori ja sen jälkeen kytkentäkotelo ja pääkytkin.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn lähtökohtana oli suunnitella sähköjärjestelmä varavoimalaitteistoon, jota käytetään henkilöauton vetävistä pyöristä saadulla voimalla. Tavoitteena oli valita ja mitoittaa sopiva generaattori sekä suunnitella ja mitoittaa suojaus vikatilanteiden varalle. Alustavassa suunnitelmassa olleisiin vaatimuksiin päästiin ja saatiin ainakin teoriassa toimiva laitteisto jolla voidaan tuottaa sähköenergiaa esim. siirrettäviin kohteisiin tai laitteisiin. Suurimmaksi ongelmaksi järjestelmässä muodostui käytettävissä olevan ajoneuvon moottorin hallinta siten, että riippumatta generaattorin kuormituksesta generaattorin akselin kierrosnopeus ja sitä kautta tuotettu sähkönlaatu pysyisivät vakiona. Alunperin ongelma piti ratkaista käyttämällä autossa jo olevaa vakionopeudensäädintä, mutta tarkemman selvittelyn pohjalta todettiin, että suurimmassa osassa autoja vakionopeuden säädin kytkeytyy pois päältä, mikäli vain osa pyöristä pyörii. Osatekijänä vakionopeudensäätimen poiskytketymiseen ovat auton turvallisuuteen liittyvät seikat sekä ajonhallintajärjestelmä, joka tarkkailee renkaiden nopeuseroja.

Toinen ongelma joka ei ole niin kriittinen, on epätahtigeneraattorin säädettävyys. Laboratoriomittauksissa havaittiin, että kuormitusta lisätessä generaattorin liitinjännite alkaa pudota jo varsin pienillä kuormituksilla merkittävästi. Mikäli kuormitus oli induktiivinen esim. moottorikuorma, jännitteen alenema oli yhä suurempi, koska tällöin kuormamoottori ottaa osan magnetointikondensaattorien tuottamasta loistehosta.

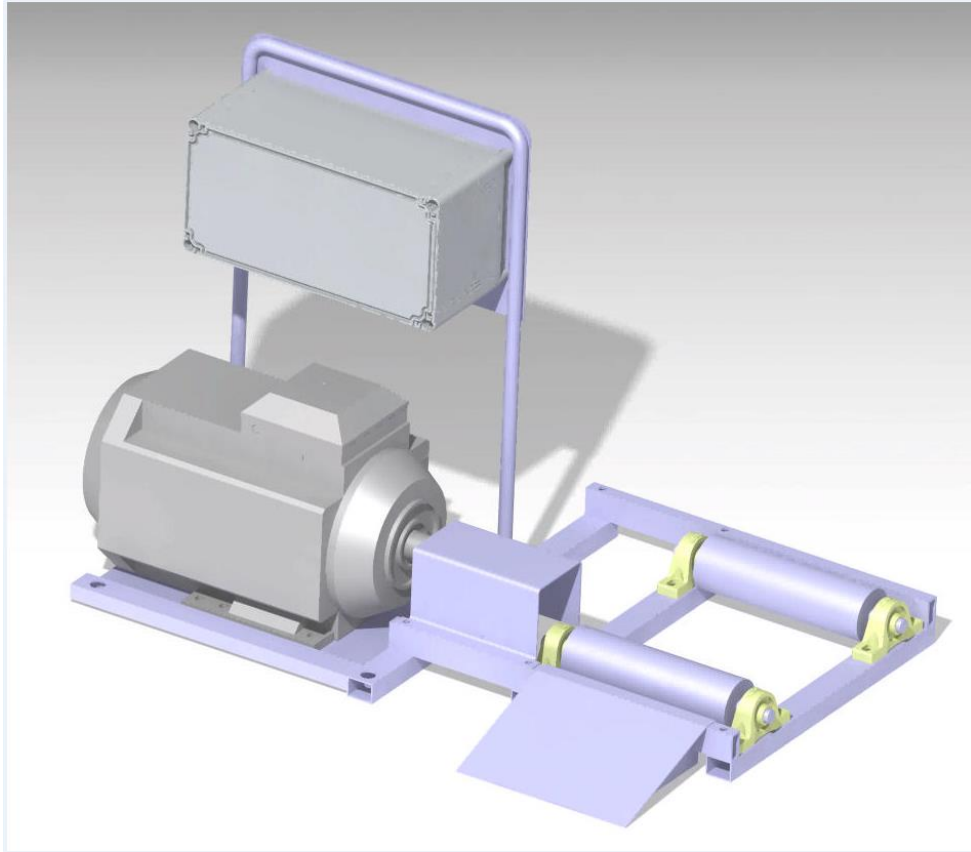
Laitteistossa on vielä paljon kehiteltävää jotta se olisi valmis tuote kaupattavaksi tai lisensoitavaksi. Tärkein kehityksen kohde on tämän sivun alussa mainittu henkilöauton moottorin kierrosnopeuden hallinta. Mahdollinen ratkaisu tähän ongelmaan on hallita kierrosnopeutta auton OBD-väylän kautta erillisellä laitteella tai suunnitella laite jolla voidaan hallita esim. moottorin kaasuläpän asentoa. On myös olemassa jälkiasennettavia vakionopeudensäätimiä. Olipa ratkaisu mikä yllämainituista hyvänsä, on selvää, että se tuo huomattavan suuren hinnan kasvun laitteistolle. Laitteisto vaatisi myös jonkinlaisen magnetoinnin säädön, mikäli käytetään epätahtigeneraattoria sähkön tuotantoon. Säädin voisi yksinkertaisimmillaan olla vain alijännitesuoja/rele, joka kytkisi lisää kondensaattoreita rinnakkain, jolloin loisteho kasvaa ja jännite nousee. Suuremmilla tehoilla (yli 10KVA) olisi generaattorin magnetoinnin säädettävyyden kannalta parempi käyt-

tää tahtigeneraattoria jossa on oma magnetointikoneisto. Myös pienemmissä kaupallisissa aggregaateissa käytetään tahtigeneraattoreita, jotka ovat usein kestopomput.

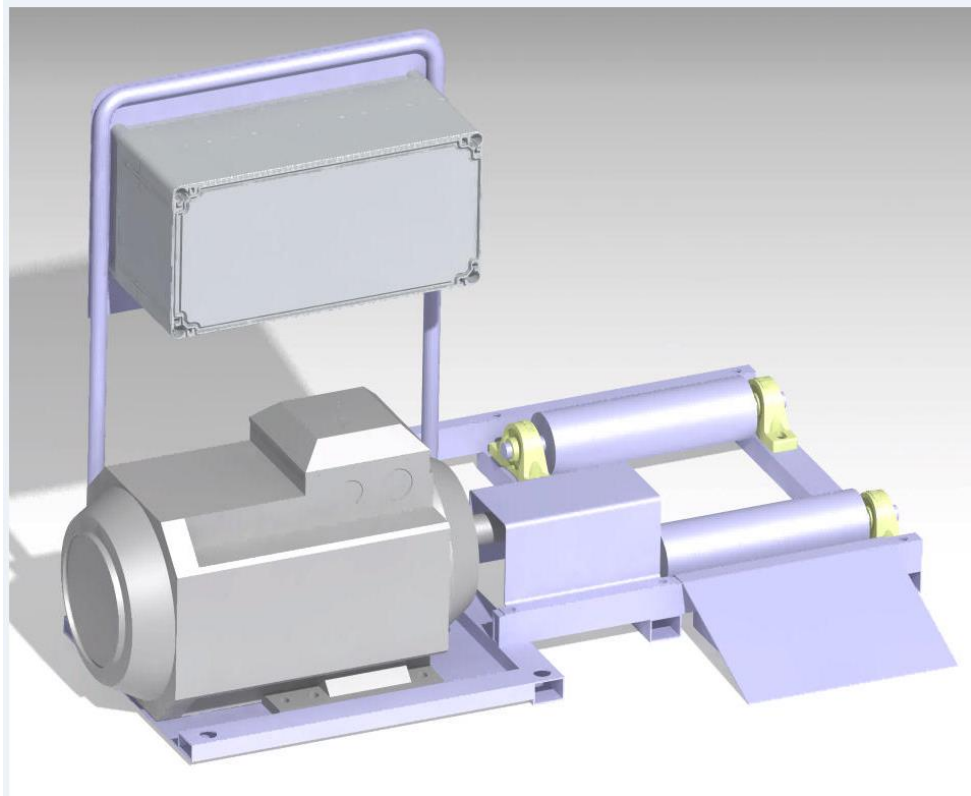
Vaikka laitteistossa on ongelmia ja kehitettävää niin siinä on myös jonkin verran kaupallista potentiaalia suuremmissa teholuokissa (yli 10KVA), koska tällöin voimakoneen hinta on korkea. Pienessä teholuokassa on tällä laitteella hankala kilpailla suurien valmistajien kanssa, jotka tekevät mm. Kiinassa ja vastaavissa Aasian maissa murto-osan kustannuksella vastaavia laitteita, joissa on jo itsessään voimakone. Lyhyesti sanottuna kyseessä on mielenkiintoinen idea, joka kokeilumielessä on toteutettavissa omaan käyttöön halvalla, mutta kaupallinen tuote vaatii kehittelyä.

Tekniset tiedot:

- Generaattori: Epätahtimoottori 7.5 KW, 1500 rpm, 132M Fe.
- Suojaukset:
 - o Ali ja ylijännitesuoja (säädettävissä)
 - o Vikavirtasuoja
 - o Oikosulkusuoja
- Jännite ja taajuus mittarit
- Pääkytkin
- Paino: 80 Kg
- Mitat: k x l x s 600mm x 1000mm x 600mm
- Kotelointi: Vähintään IP44
- Liitynnät: 2kpl schuko pistorasia, 1 kpl 5-napainen CEE-pistorasia ja riviliitinlähtö kiinteälle syötölle sekä maadoituselektrodille.
- Suurin sallittu akselimassa: 2000Kg



Kuva 48. 3D-malli prototyyppilaitteistosta



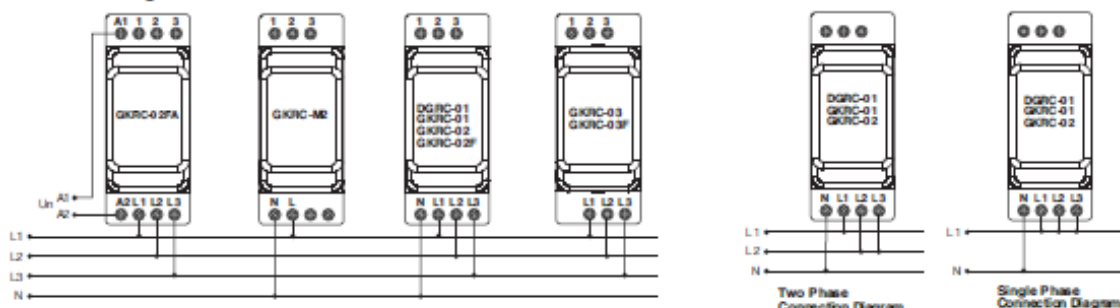
Kuva 49. 3D-malli prototyyppilaitteistosta

OVER AND UNDER VOLTAGE PROTECTION RELAYS

EN

DGRC-01, GKRC-01, GKRC-02, GKRC-02F, GKRC-02FA, GKRC-03, GKRC-03F, GKRC-M2

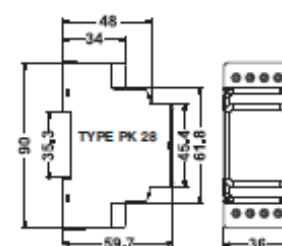
Connection Diagram



TECHNICAL PROPERTIES

Measurement and Supply Circuit	
Supply Voltage (Un)	: 220, 230V AC DGRC-01, GKRC-01/02/02F/02FA/M2 : 400V AC GKRC-03/03F
Supply Voltage Gap (ΔU)	: 150...300V AC DGRC-01, GKRC-01/02/02F/M2 : 270...510V AC GKRC-03/03F : 190...260V AC GKRC-02FA
Supply Frequency	: 48 ... 63 Hz : 50 / 60 Hz (GKRC-02FA)
Power Consumption (max.)	: 30 VA / 2W (50Hz...)
Measurement Method	: True RMS
Settings	
Over Voltage Setup (Umax.)	: 1.05...1.30 x Un (% Scale) : 240 ... 300 V AC (GKRC-01/02/02F/M2) : 410 ... 510 V AC (GKRC-03/03F/02FA)
Under Voltage Setup (Umin.)	: 0.7...0.95 x Un (% Scale) : 150 ... 210 V AC (DGRC-01, GKRC-02/02F/M2) : 270 ... 370 V AC (GKRC-03/03F/02FA)
Hysteresis (for Umax and Umin)	: Un x %3 (constant)
Delay-Off (Delay)	: 0.1 ... 20 sec. (common for Umax and Umin)
Delay-On (Reset Delay)	: 0.1 ... 20 sec.
Voltage Adjustment Accuracy	: \pm %3
Repetition Accuracy (Voltage)	: \pm %0.5
Accuracy of the Set Times	: \pm %5 + 100 ms
Repetition Accuracy (Time)	: \pm %3
Output	
Output Type	: 1 inverter, 8A, 250V, 2000VA (Cos ϕ =1)
Electrical Life	: 10 ⁶
Mechanical Life	: 10 ⁷
Ambient Conditions	
Operating Temperature	: -5°C ... +55°C
Relative Humidity	: < %90 (without condensation)
Connection	
Cable Cross-sections for Terminals	: 4mm ² (12AWG) stranded rigid cable : 6mm ² (10AWG) solid conductor cable : 2x2.5mm ² (14AWG) solid conductor cable
Screw-On Force	: 0.5 Nm (4.5 in.lbs)
Body	
Installation	: Inside the panel vertically or on to the rail
Material Type	: Plastic Consistent with UL 94 V0
Protection Class	: IP 20 (Terminals), IP 40 (Front Panel)
Dimensions	: Type PK 28
Weight	: 100 gr. (Only GKRC-02FA 200 gr.)
Isolation	
Isolation Voltage (EN 60255-6)	: 400 V
Isolation Coordination (EN 60255-6)	: Exceeding Voltage Category III, Pollution Degree 3
Instant Burst Voltage (EN 60255-6)	: 4 kV 1.2 / 50 μ s
Dielectric Resistance (EN 60255-6)	: 2 kV AC 50 Hz, 1 minute
Isolation Resistance (EN 60255-6)	: > 500 MOHM / 500 V DC
Followed Standards	
EN-60255-6	: Product Standard
EN-61000-6-2	: Immunity
EN-61000-6-3, EN-61000-6-4	: Emission
Directives/Regulations To Be Followed	
73/23/EEC	: LVD
89/339/EEC	: EMC

Dimensions (mm)



LÄHTEET

Aggregaatin mitoitus ja valinta. 2010. Hollolan sähköautomaatiikka Oy. Luettu 14.3.2013

www.hsaoy.com/Apua/Mitoitus_ja_valinta/valinta.html 2013

ABB Oikosulkumoottorit: Teknistä perustietoa. 2010. Tulostettu 10.1.2013

www.abb.fi

Leena, K. 2009. Sähkökoneet osa 1. Luettu 20.2.2013

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf

Anders, W. 2006. SEK Handbok 447 - Generatoraggregat - Tekniska anvisningar för anslutning och drift av generatoraggregat.

Leena, K. 2009. Sähkökoneet osa 2. Luettu 20.2.2013

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf

Jim, M. 2004. The fundamentals of permanent-magnet AC motors., Motion System Design.

Alger, P. 1949. Induction Machines' sub-section of Sec. 7 - Alternating-Current Generators and Motors, 690-705.

NEMA MG-1. 2008. Information Guide for General Purpose Industrial AC Small and Medium Squirrel-Cage Induction Motor Standards.

I. S. Grant & W. R. Phillips. 2003. Electromagnetism, 2. painos.

SFS-käsikirja 600 Pienjänniteasennukset ja Sähkötyöturvallisuus. 2007. SFS-6000-EN 60529.

SFS-käsikirja 600 Pienjänniteasennukset ja Sähkötyöturvallisuus. 2007. SFS 6000-4-41.Liite 41C.

Sähkötieto ry. 2012. Siirrettävän, pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon. ST-kortti 52.40.

SFS-käsikirja 600 Pienjänniteasennukset ja Sähkötyöturvallisuus. 2007. SFS-EN 60417-5172: Luokan II sähkölaite.

Turun Yliopisto, ylivirtasuojaus. 2010. Luettu 21.03.2013

<http://ptm2.cc.utu.fi/~ptmusta/kuvat/Sahko/ylivirtasuojaus-2.doc>

SFS-käsikirja 600 Pienjänniteasennukset ja Sähkötyöturvallisuus. 2007. SFS 6000-5-53. Taulukko O.531B.

SFS-käsikirja 600 Pienjänniteasennukset ja Sähkötyöturvallisuus. 2007. SFS 6000-5-52 Liite 54D 2007.